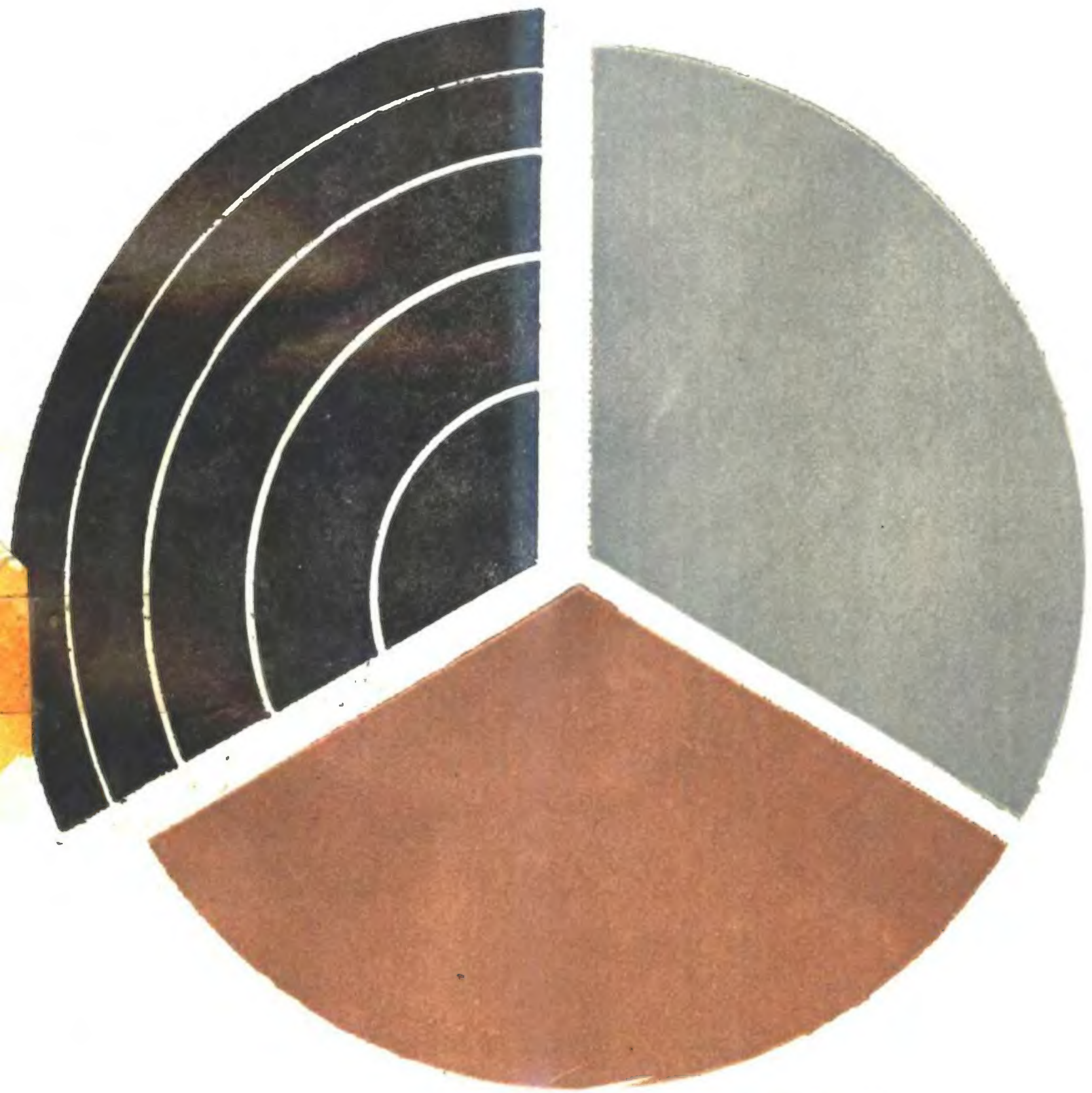
交流电动机绕组修理改装技术问答

赵家礼　编著



机械工业出版社

交流电动机绕组修理改装技术问答

机械工业出版社

(京)新登字054号

内 容 简 介

本书较详尽地、系统地解答了广大电动机修理工作者在修理和改装交流电动机绕组时常碰到的技术问题。全书共分四章：绕组修理改装基础知识问答、绕组重绕技术问答、绕组改装技术问答、质量检查及标准技术问答。

全书内容翔实，深入浅出，文字通俗易懂，问题针对性和实用性强，适合于电动机维修工人和从事电动机设计、生产的工程技术人员查阅，大专院校有关专业师生参考。

交流电动机绕组重绕改装技术问答

赵家礼 编著

责任编辑：范兴国　版式设计：李松山
封面设计：姚　毅　责任校对：丁丽丽

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）
邮政编码：100037
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）
河北涿中印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168 1/32 · 印张15.5 · 字数 422 千字
1994年1月北京第1版·1994年1月北京第1次印刷
印数 00 001—6130 · 定价 19.50 元

ISBN 7-111-03923-8/TM·493(G)

前　言

近几年来，陆续收到了祖国各地许多热心读者的来信，提出许多在电动机绕组修理和改装过程中所碰到的实际技术问题，虽然当时已一一作复，但毕竟受到时间和篇幅的限制，未能全面系统地进行解答，而且考虑到还有许多读者也会遇到类似的技术问题。为了满足广大读者的需要和广泛地交流修理经验，笔者精选了一些具有代表性的技术问题，并系统地作了解答，以供广大读者在电动机修理实践中参考。

全书共分四章，即绕组修理改装基础知识问答、绕组重绕技术问答、绕组改装技术问答、质量检查及标准技术问答。

本书所解答的问题均来源于生产第一线的工人和工程技术人员，所以具有实用性和针对性。当读者在修理电动机实践中碰到技术难题时，如果翻阅一下本书的内容，会得到一定的启发和解答。

本书在解答问题的内容方面，是作者多年从事电机设计、生产和维修实践中所积累的经验。参加本书编写工作的还有赵捷、何青、赵健同志。书中疏漏和不妥之处在所难免，望广大读者提出宝贵的意见。

作　者

1993年6月

目　录

第一章　绕组修理改装基础知识问答

〔1-1〕 什么叫线圈的工艺短节距？如何正确选择线圈的节距？…… 1

〔1-2〕 三相绕组引出线的位置如何确定？下面画出三幅不同的引线方式图都正确吗？…… 6

〔1-3〕 三相交流电动机绕组有哪些型式？适用范围如何？…… 9

〔1-4〕 单层绕组都有哪些特点？单层同心式线圈跨距如何计算？…… 9

〔1-5〕 双层绕组有哪些特点和种类？…… 11

〔1-6〕 什么叫散布绕组、△-Y 混合绕组和单双层混合绕组？都有哪些特点？…… 13

〔1-7〕 怎样分析和改进绕组型式？常碰到的错误改法有哪些？…… 18

〔1-8〕 三相绕组接线规律是什么？怎样连接成△、Y绕组？…… 21

〔1-9〕 什么叫绕组的庶极接法、显极接法？什么叫长连接、短连接？…… 24

〔1-10〕 如何画出单层交叉链式、等元件单层链式绕组展开图？…… 26

〔1-11〕 三相绕组的接线简图如何画法？…… 27

〔1-12〕 三相对称分数槽绕组如何进行排列？…… 31

〔1-13〕 三相非对称分数槽绕组如何进行排列？…… 36

〔1-14〕 如何选择绕组的并联支路数？并联支路数与电动机振动有关系吗？…… 39

〔1-15〕 分数槽绕组在选择并联支路数时会受到哪些限制？…… 42

〔1-16〕 重绕线圈时，电磁线代用的意义和原则是什么？…… 48

〔1-17〕 常用电磁线代用计算方法有哪些？代用时要考虑哪些问题？…… 50

〔1-18〕 怎样用查表法直接查出代用导线的规格？…… 56

〔1-19〕 常用非磁性槽楔有哪些种类？为什么推广引拔槽楔？…… 65

〔1-20〕 MDB 复合槽楔有哪些优点？其尺寸如何选择？…… 67

〔1-21〕 采用磁性槽楔或磁性槽泥改造电动机有哪些好处？如何计算节电效果？…… 68

〔1-22〕 三相绕组的绕组系数如何计算？…… 73

〔1-23〕 线圈匝数与空载电流、气隙长度、铁心长度，以及线圈跨

距之间都有什么关系？ …… 80
〔1-24〕 怎样把单层整节距绕组改成单层链式绕组？ …… 88
〔1-25〕 怎样把单层交叉同心式绕组改为单层交叉链式绕组？ …… 90
〔1-26〕 怎样把单层绕组改为双层绕组？ …… 92
〔1-27〕 怎样把双层绕组改为单双层混合绕组？ …… 94
〔1-28〕 怎样把双层绕组改为△-Y混合接线的正弦绕组？…… 98
〔1-29〕 想把B级高压电动机重绕成F级，仍利用原有工装设备，问如何选择绝缘材料？ …… 105
〔1-30〕 电动机重绕时槽有效面积如何计算？ 槽满率如何选择和计算？…… 106
〔1-31〕 无纬带如何进行绑扎和计算？ …… 109
〔1-32〕 如何选择高压电动机防晕措施？ …… 112
〔1-33〕 高压电动机线圈匝间绝缘承受试验电压值如何确定？ …… 113
〔1-34〕 高压电动机主绝缘单边厚度如何确定？ …… 115
〔1-35〕 电动机修理时，如何选择浸渍绝缘漆？ …… 116
〔1-36〕 F级电动机选用少溶剂1040 绝缘漆有哪些好处？…… 120
〔1-37〕 1032 绝缘漆的粘度与温度如何进行换算？ …… 121

第二章 绕组重绕技术问答

〔2-1〕 为什么拆旧线圈时不许用火烧和火碱水煮电动机？ …… 125
〔2-2〕 小型交流电动机怎样快速拆除定子旧线圈？ …… 126
〔2-3〕 浸渍环氧树脂的电动机旧绕组如何拆除？ …… 126
〔2-4〕 切除旧线圈端部的装置如何制做？ …… 127
〔2-5〕 拆除旧绕组时要考虑哪些技术问题？ …… 127
〔2-6〕 怎样在拆线机上拆除旧线圈？ …… 130
〔2-7〕 怎样做好拆绕组的原始记录？ …… 131
〔2-8〕 清理铁槽内残余绝缘时有哪些工艺要求？ …… 134
〔2-9〕 修理电动机时保证绕线模和整形模尺寸的正确性有什么意义？ …… 135
〔2-10〕 单层交叉式线圈绕线模尺寸如何计算？ …… 136
〔2-11〕 单层链式线圈绕线模尺寸如何计算？ …… 139
〔2-12〕 单层同心式线圈绕线模尺寸如何计算？ …… 141
〔2-13〕 单双层混合绕组绕线模尺寸如何计算？ …… 146

〔2-14〕 成型线圈绕线模尺寸如何计算？ …… 150
〔2-15〕 整形模尺寸如何计算？ …… 153
〔2-16〕 自制高压电动机线圈热压模时要考虑哪些技术问题？ …… 156
〔2-17〕 重绕电动机绕组时怎样合理选用电磁线？ …… 158
〔2-18〕 修理低压交流电动机时，如何选用绝缘材料？ …… 165
〔2-19〕 电动机修理时如何选择绕组的绑扎材料？ …… 167
〔2-20〕 中小型交流电动机(380V,B级)定子绕组绝缘规范内容有哪些？ …… 169
〔2-21〕 中小型交流电动机（500V，B级)定子分片嵌绕组的绝缘规范内容有哪些？ …… 172
〔2-22〕 中小型绕线转子异步电动机转子绕组的绝缘规范内容有哪些？ …… 174
〔2-23〕 高压电动机(3kV,B级)定子绕组的绝缘规范内容有哪些？… 177
〔2-24〕 高压电动机(6kV,B级)定子绕组的绝缘规范内容有哪些？… 178
〔2-25〕 高压电动机(10kV,B级)定子绕组的绝缘规范内容有哪些？ …… 181
〔2-26〕 绕线转子导条绝缘规范内容有哪些？ …… 184
〔2-27〕 绕线转子端部绝缘和支架绝缘规范内容有哪些？ …… 184
〔2-28〕 凸极同步电动机（500V，B级)磁极绝缘规范内容有哪些？ …… 190
〔2-29〕 定子绕组匝数是如何确定的？ …… 192
〔2-30〕 空壳铁心配三相定子绕组时如何简易计算？ …… 196
〔2-31〕 半开口槽分片线圈如何重包绝缘复用？ …… 203
〔2-32〕 插入式转子线圈如何修复？ …… 206
〔2-33〕 绕线转子线圈如何正确嵌线和组装质量检查？ …… 212
〔2-34〕 高强度漆包线如何快速脱掉漆膜？ …… 216
〔2-35〕 低压软绕组线圈如何进行嵌线？ …… 217
〔2-36〕 低压硬绕组线圈如何进行嵌线？ …… 221
〔2-37〕 转子铜排如何进行嵌线？ …… 222
〔2-38〕 重绕高压圈式线圈的工艺流程都有哪些？ …… 224
〔2-39〕 线圈张形和整形时都有哪些技术要求？ …… 225
〔2-40〕 绕制定子线圈时有哪些工艺要求？ …… 226
〔2-41〕 高压电动机线圈包扎云母带绝缘的工艺要点是什么？ …… 227

〔2-42〕 热压高压电动机线圈时，如何确定热压工艺？ …… 231
〔2-43〕 什么叫半固化模压线圈？有什么好处？具体施工工艺如何进行？ …… 232
〔2-44〕 高压定子模压线圈如何进行嵌线？ …… 234
〔2-45〕 电动机绕组连接线和引出线的工艺要求有哪些？ …… 235
〔2-46〕 同步电动机磁极线圈绝缘如何修复？ …… 240
〔2-47〕 同步电动机磁极线圈怎样进行装配？ …… 245
〔2-48〕 电动机绕组浸渍处理的目的是什么？ …… 247
〔2-49〕 中小型交流电动机定子绕组绝缘浸渍干燥的工艺内容有哪些？ …… 248
〔2-50〕 在定子膛内如何热压修复高压线圈绝缘？ …… 250

第三章 绕组改装技术问答

〔3-1〕 老系列电动机改造成高效率电动机都有哪些好处？ …… 253
〔3-2〕 提高电动机效率都有哪些措施？ …… 254
〔3-3〕 电动机挖潜改造到什么程度算是达到高效率电动机了？ …… 258
〔3-4〕 重绕空载电流大的电动机时，怎样计算合适的线圈匝数？ …… 260
〔3-5〕 重绕线圈时，怎样提高绕组有效匝数来降低空载电流？ …… 262
〔3-6〕 请介绍现场处理空载电流大的实例。 …… 265
〔3-7〕 怎样合理地提高槽满率来增加线圈匝数降低空载电流？ …… 268
〔3-8〕 怎样合理选择槽绝缘厚度来增加槽内线圈匝数？ …… 269
〔3-9〕 怎样通过空载调压试探法来确定绕组合理的重绕匝数？ …… 271
〔3-10〕 电动机绕组匝数增加或减少对电动机性能有什么影响？ …… 273
〔3-11〕 电动机铁心长度与正常值不符时如何通过重绕线圈来解决？ …… 274
〔3-12〕 电动机气隙磨损过大时，如何通过重绕计算来解决？ …… 275
〔3-13〕 如果某电动机的空载电流I_0、气隙长度δ和铁心长度l_{Fe}

均不符合产品样本要求、电动机因空载电流过大而发热，问如何通过重绕计算来解决？ …… 276
〔3-14〕 堵转转矩低的电动机，如何确定重绕线圈匝数？ …… 277
〔3-15〕 过载能力低的电动机，如何确定重绕线圈匝数？ …… 278
〔3-16〕 电动机堵转电流过大，怎样通过重绕来解决？ …… 279
〔3-17〕 怎样改变电动机电压适应电源电压要求？ …… 281
〔3-18〕 电动机改极数时，要考虑哪些技术问题？ …… 289
〔3-19〕 电动机改极数时，如何进行简易计算？ …… 293
〔3-20〕 绕组重绕时将半开口槽硬线圈改为圆导线的软线圈可以吗？ …… 297
〔3-21〕 修理电动机时，怎样才能提高电动机绕组耐电压水平？ … 298
〔3-22〕 提高起重、冶金电动机绝缘时如何考虑降低成本问题？ … 301
〔3-23〕 怎样修复国外插入式转子线圈绝缘？ …… 302
〔3-24〕 引进国外二手电动机如何进行简易改频计算？ …… 304
〔3-25〕 修理国外电动机时，怎样选用国产绝缘材料代用？ …… 304
〔3-26〕 60Hz电动机使用在50Hz电源上的改造措施有哪些？ …… 308
〔3-27〕 国产50Hz电动机使用到国外60Hz电源时，电动机性能会有哪些变化？ …… 311
〔3-28〕 修理国外高压电动机绕组时，要采取哪些改进措施？ …… 317
〔3-29〕 电动机修理时欲使电动机增容都有哪些措施？ …… 319
〔3-30〕 为了应急采取甩线圈办法应考虑哪些技术问题？如何进行计算？ …… 322
〔3-31〕 用圆铜线修复扁铝线绕组时，如何进行操作和计算？ …… 325
〔3-32〕 怎样提高电动机绕组绝缘耐温性能？ …… 326
〔3-33〕 改接绕组解决负载率低时，如何进行计算？ …… 328
〔3-34〕 怎样提高高压电动机绕组的起始电晕电压？ …… 329
〔3-35〕 把普通三相绕组改制成三相 △- Y 混合绕组时怎样进行计算？ …… 331
〔3-36〕 国外耐氟电动机能用国产绝缘材料修复吗？ …… 333

第四章　质量检查及标准技术问答

〔4-1〕 电动机修理后效率降低是什么原因造成的？如何提高电动机效率？ …… 336

〔4-2〕 电动机修理后使功率因数降低是什么原因造成的？如何解决？ …… 339
〔4-3〕 电动机经修理后使噪声和振动增大的原因有哪些？如何鉴别和解决？ …… 341
〔4-4〕 修理电动机时造成电动机损耗增大的原因都有哪些？如何防止？ …… 344
〔4-5〕 电动机修理后造成堵转转矩降低的原因有哪些？如何提高堵转转矩？ …… 347
〔4-6〕 电动机修理后温升偏高是什么原因造成的？如何降低温升？ …… 347
〔4-7〕 电动机修理后造成空载电流或空载损耗增大或不平衡的原因有哪些？如何解决？ …… 349
〔4-8〕 修理过的电动机造成堵转电流过大或过小及不平衡的原因是什么？如何通过这些参数变化来判断电动机故障？ …… 351
〔4-9〕 经过修理的电动机造成堵转损耗过小或过大的原因有哪些？如何通过这些参数变化来判断电动机故障？ …… 352
〔4-10〕 为什么绕组故障多发生在转子上？提高转子绕组修理质量有哪些措施？ …… 353
〔4-11〕 修理的电动机经检查确认修理质量良好，但空载电流不平衡是什么原因造成的？ …… 354
〔4-12〕 为什么要求定期清理绝缘漆？如何保证浸漆质量？ …… 355
〔4-13〕 修理后的电动机造成绕组短路故障如何检查和处理？ …… 356
〔4-14〕 修理后的电动机造成绕组断路故障如何检查和处理？ …… 359
〔4-15〕 修理后的电动机造成绕组接地故障如何检查和处理？ …… 360
〔4-16〕 修理后的电动机造成绕组接反的故障时如何检查和处理？ …… 362
〔4-17〕 交流电动机绕组嵌线时，绕组绝缘遭受损伤的原因有哪些？如何处理？ …… 363
〔4-18〕 高压定子线圈嵌线时发生对地击穿的原因都有哪些？ …… 365
〔4-19〕 低压电动机绕组重绕时质量检查内容和标准都有哪些？ …… 366
〔4-20〕 高压电动机的圈式线圈重绕质量检查内容和标准都有哪些？ …… 367

〔4-21〕 高低压定子绕组的嵌线质量检查内容都有哪 些？…… 368
〔4-22〕 高低压定子线圈接线检查内容有 哪些？…… 370
〔4-23〕 绕线转子和笼型转子绕组检查内容有哪 些？…… 370
〔4-24〕 电动机修理重新更换铁心时，如何考虑硅钢片涂漆问题？…… 372
〔4-25〕 修理电动机时铁心质量如何进行检查和试 验？…… 373
〔4-26〕 电动机修理后试验项目和标准都有哪些项？…… 378
附　录 附表中符号含义…… 385
附表 1 Y系列（IP44）小型三相异步电动机技术数据（380V，50Hz）…… 386
附表 2 Y系列（IP23）小型三相异步电动机技术数据（380V，50Hz）…… 396
附表 3 Y80～160（IP44）三相异步电动机木模尺寸表…… 402
附表 4 Y180～315（IP44）三相异步电动机木模尺寸 表…… 403
附表 5 J系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表 …… 406
附表 6 JO 系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表…… 410
附表 7 J2系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸 表…… 414
附表 8 JO2 系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表 …… 418
附表 9 J2、JO2系列三相异步电动机技术数据汇总表 …… 426
附表10 J2、JO2、JS、JSQ、JR、JRQ系列三相异步电动机槽形尺寸表…… 436
附表11 JS 系列三相异步电动机技术数据汇总表…… 44⁰
附表12 JSQ 系列三相异步电动机技术数据汇总表 …… 452
附表13 JR 系列三相异步电动机技术数据汇总表 …… 456
附表14 JRQ 系列三相异步电动机技术数据汇总 表…… 462
附表15 上海地区生产的JS系列中型三相异步电动机技术数据汇总表 …… 468
附表16 上海地区生产的JR系列中型三相异步电动机技术数据汇总表 …… 480

第一章　绕组修理改装基础知识问答

〔1-1〕 什么叫线圈的工艺短节距？如何正确选择线圈的节距？

答：通常一只线圈有两个线圈边，这两个线圈边分别跨在相隔一定槽数的两个铁心槽内，其所跨的铁心槽数称为线圈的节距，也叫跨距，用y表示。比如某线圈的一个边嵌在槽1内，另一边嵌在槽9内，则此线圈的节距y为8个槽，或用$y=1-9$槽表示更确切。

电动机的极距τ的单位如用槽数表示时，则极距τ表示电动机的总槽数Z被电动机的极数$2p$除所得的商，也就是电动机每个极所占有的槽数，即$\tau=\frac{Z}{2p}$槽。

当$y=\tau$时，叫整节距，或叫全节距，带有这种节距的线圈叫整节距线圈。单层绕组的线圈绝大部分是整节距线圈。

当$y<\tau$时，叫短节距，带有这种节距的线圈叫短节距线圈。双层绕组多采用短节距线圈，通常选择$y=\frac{5}{6}\tau$。两极电动机线圈节距较大，嵌线工艺难度大，线圈端部也长，有时选用$y=\frac{2}{3}\tau$，但无论如何不能使$y\leqslant\frac{1}{2}\tau$，因为如果这样选用，不但浪费许多贵重的铜线，也会使磁场发生很大畸变，基波转矩被削弱，而不希望有的高次谐波转矩增加，电动机不能正常运行。

当$y>\tau$时，叫长节距，带有这种节距的线圈叫长节距线圈。在多速电动机上由于考虑各种不同极数的需要，要碰到长节距线圈，一般正常单速电动机不用，因为浪费铜，使铜耗增加，电动机效率降低。

一般是采用 $y<\tau$ 的短节距线圈，因为短节距线圈有以下优点。

（1）短节距线圈的端部长度比整节距线圈短、省铜、铜耗降低，另外减少了轴长、电动机体积和重量。

（2）减少线圈端部漏磁通，从而可提高电动机的效率、功率因数以及输出功率。

（3）一般双层绕组多选用短距线圈，这样可以改善磁场分布，减少高次谐波，改善电动机性能。因此，较大容量的电动机都是采用双层绕组。但有的小型电动机考虑到工艺方便，便于嵌线等原因，采用了单层整节距绕组，但在修理时，不太考虑工艺工时的困难，往往把单层整节距绕组改为双层短节距绕组，适当增加些匝数，保持绕组的有效匝数不变，绕组端部长度缩短，也能改善电动机的电磁性能。

按照上面节距的定义，$y<\tau$ 叫短节距。在平时修理电动机时，发现许多单层绕组 $y<\tau$，这是不是短节距绕组？比如36槽 $2p=4$ 极三相异步电动机[⊖]的绕组，线圈节距是两个 1—9 槽，（即 $y_1=8$ 槽），一个 1—8 槽（即 $y_2=7$ 槽），而电动机极距 $\tau=\frac{Z}{2p}=\frac{36}{4}=9$ 槽，应该是 1—10 槽才是整节距。其实这种情况也是整节距。因为这种绕组起不到双层绕组短节距改善磁场的分布和削弱高次谐波的作用，也就是说在电磁性能改善方面跟单层整节距绕组效果相同，仅在工艺上达到缩短线圈端部长度和省铜的目的，所以把这种形式上是短节距的单层绕组称为工艺短节距绕组。

由上例知，每极每相槽数 $q=\frac{Z}{2pm}=\frac{36}{4\times 3}=3$ 槽，现在按整节距 $y=\tau=\frac{Z}{2p}=\frac{36}{4}=9$ 槽，绕制线圈并嵌入槽内，

⊖ 本书异步电动机，只适用于感应电动机，下同。

其绕组展开图如图1-1所示。现在再按工艺短节距$y_1=8$（两个）和$y_2=7$（一个）嵌槽，如图1-2(a)、(b)所示。

这三幅绕组展开图都是用相同的线规和线圈匝数绕制的，唯一不同的是线圈跨距不同，工艺短节距的线圈跨距短，线圈端部伸出铁心短，省铜，但他们的电磁效果是一样的，为什么？

因为线圈端部只起连接作用，线圈直线部分（嵌入铁心槽内的部分）才是切割主磁通产生电磁转化的作用，所以，判别这三幅图的电磁性能是否相同，可抛开线圈端部的连接方式，只看线圈直线部分情况，如每槽匝数、线径相同，电流流动方向相同，绕组排列规律一致，才说明电磁效果是一样的。如果用手挡住端部连接方式不管，只看线圈的直线部分，就会分辨不出这三幅图有什么差别。由此可看出，对于单层绕组还是选择工艺短距为好。当然工艺短节距线圈的木模比整节距的要复杂些，但总的衡量，其优点是主要的，所以今后碰到老系列电动机带有整节距的单层绕组时，建议选用工艺短节距的单层绕组。

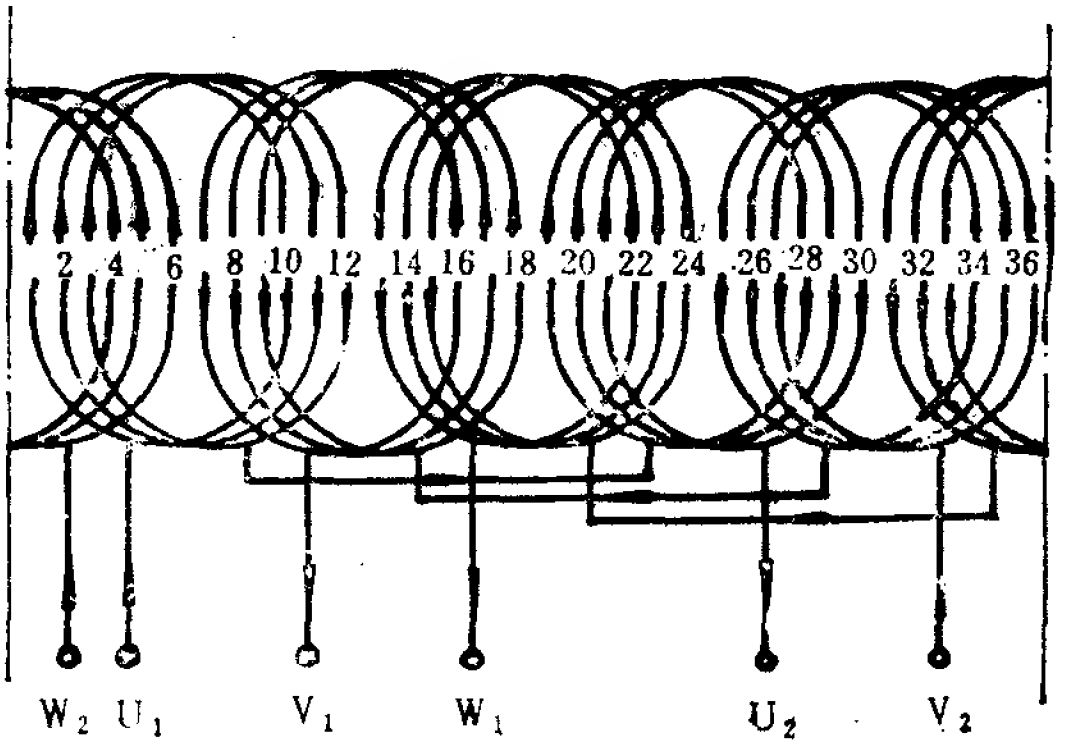


图1-1　单层整节距绕组展开图

$m=3$　$2p=4$　$\tau=9$　$Z=36$　$y=9$　$q=3$　$a=1$

至于多速电动机的线圈节距的选择，要同时兼顾各种极数对线圈节距的要求，比如6极、72槽的单绕组三相异步电动机，欲改为4、6、8极的单绕组多速电动机时，各极的极距分别为：

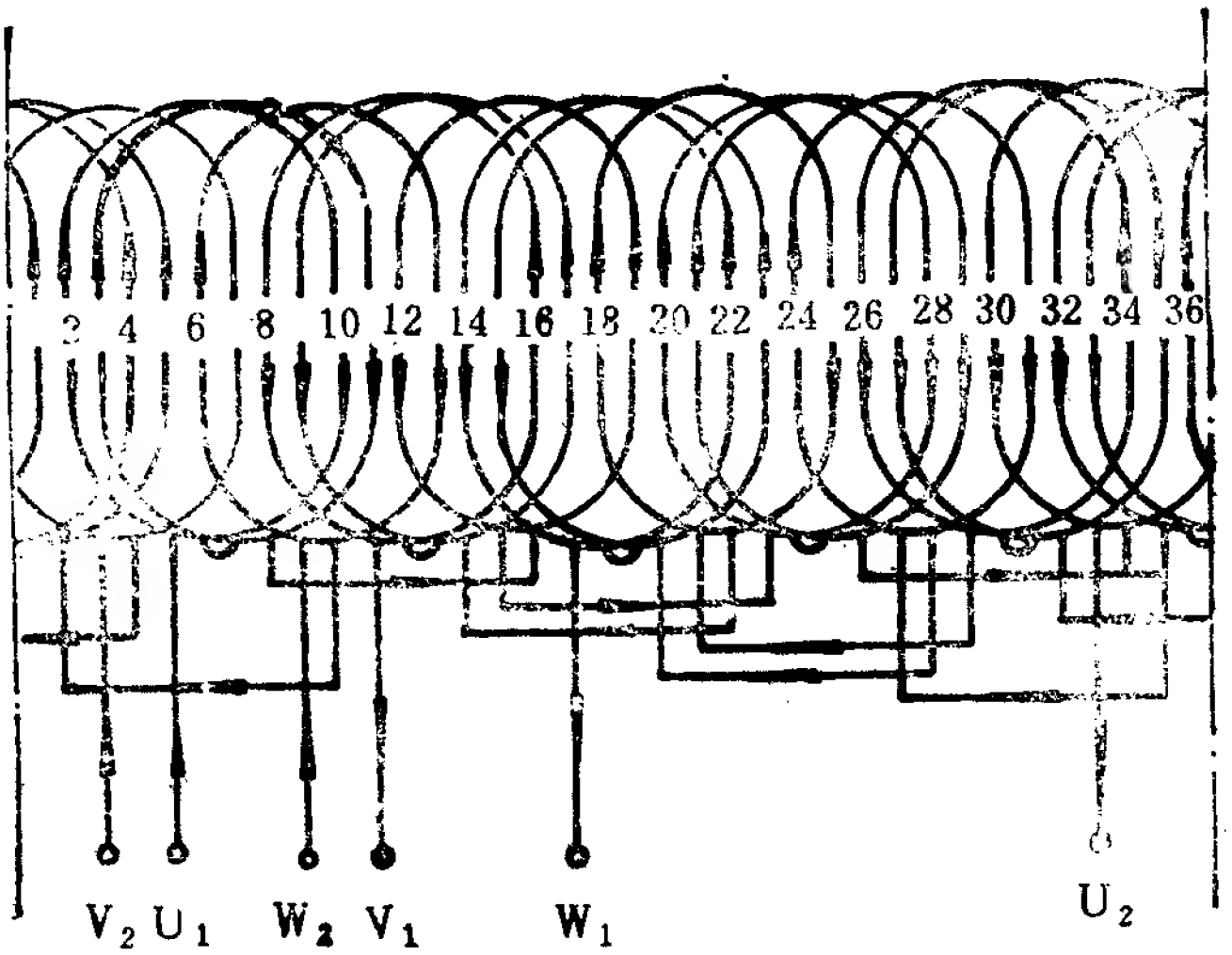


图1-2　单层交叉链式工艺短节距绕组展开图

$m=3$　$2p=4$　$Z=36$　$\tau=9$　$y_1=8$　$y_2=7$　$a=1$　$q=3$

$$\tau_4=\frac{Z}{2p}=\frac{72}{4}=18$$

$$\tau_6=\frac{Z}{2p}=\frac{72}{6}=12$$

$$\tau_8=\frac{Z}{2p}=\frac{72}{8}=9$$

如果是单极双层绕组电动机，当然要选择下面的节距为好：

$$y_4=0.83\tau_4=0.83\times18=15$$

$$y_6=0.83\tau_6=0.83\times12=10$$

$$y_8=0.83\tau_8=0.83\times9=7.5$$

但对于同一个绕组只能具有同一个线圈跨距，当然不能同时满足各种不同极数的不同线圈节距的要求。上例为了兼顾各种不同极数的要求，可选择 $y_6=11$：对于 τ_4 而言，少 4 个槽，但大于 $\frac{\tau_4}{2}=\frac{15}{2}=7.5$，可以用；对于 τ_6 而言，多 3 个半槽，也可以用。

为了消除某一高次谐波，可选择该谐波的绕组短距系数为零，即

$$K_{p\nu}=\sin\nu\beta\frac{\pi}{2}=0$$

式中 ν——高次谐波的某一次谐波

β ——节距比$\left(\beta=\frac{y}{\tau}\right)$

设令 7 次谐波为零，求线圈节距 y 是多少？

解：已知 $\nu=7$，则使：

$$K_{p_1}=\sin(90^\circ\times7\beta)=0\text{或}n\pi$$

n为0、1、2、3……n，均为自然整数。

算出 $y_7=0.86\tau$

设令 5 次谐波为零，求线圈节距 y 是多少？

解：已知 $\nu=5$，则使：

$$K_{pv}=\sin(90^\circ\times5\beta)=0$$

$$90^\circ\times5\beta=0\text{ 或 }n\,90^\circ$$

n 为 1 、 2 、 3 …… n ， 自然整数

算出 $y_5=0.80\tau$

双层绕组的线圈节距选为$\frac{5}{6}\tau=0.83\tau$，就是考虑同时消除或削弱 5 次和 7 次谐波，因$\frac{5}{6}\tau\approx0.83\tau$，是 5 次和 7 次谐波线圈节距系数的平均值，即$\frac{0.86+0.80}{2}\approx0.83$。

电动机中的高次谐波主要有3、5、7、9、11、13等奇次谐波，对于△连接、丫连接的绕组，3 次谐波对线路无影响，只在线圈内部流动，而11次、13次及以上高次谐波幅值又较小，所以对电动机危害较大的是 5 次和 7 次谐波。双层绕组选择 0.83τ 线圈节距可以大大削弱 5 次和 7 次谐波，使磁动势波形更接近于正弦波，而整节距绕组就无此优越性了。

〔1-2〕 三相绕组引出线的位置如何确定？下面画出三幅不同的引线方式图都正确吗？

答：为了使三相绕组的电动势、电流对称，所以，电动机三相绕组的引出线位置应相互差120°电角度。为了确定正确的引出线位置，应先计算出相邻两槽之间的电角度，叫槽距角，用 α 表示。

$$\alpha=\frac{360^\circ p}{Z}\qquad\left(360^\circ p\text{ 是电动机内圆一周的电角度}\right)$$

式中 p——极对数

Z——电动机槽数

设$Z=48$，$2p$为 8 极三相异步电动机，求其槽距角？

解：
$$\alpha=\frac{360^\circ p}{Z}=\frac{360^\circ\times4}{48}=30^\circ$$

相邻相之间的槽数为$\frac{120^\circ}{\alpha}=\frac{120^\circ}{30^\circ}=4$槽，说明如果第一相

(U相)引线在槽1内，则第二相（V相)的引线应在1＋4＝5，即槽5内，而第三相（W相）的引出线应在5＋4＝9，即槽9内。

例：三相4极72槽的异步电动机，画出绕组三相的引出线位置？

解：槽距角 $\alpha=\frac{360^{\circ}p}{Z}=\frac{360^{\circ}\times 2}{72}=10^{\circ}$

每极每相槽数 $q=\frac{Z}{2pm}=\frac{72}{4\times 3}=6$

用一个方框代表6个串联的线圈，或6个槽，代表一个极相组。

相邻相的距离槽数为 $\frac{120^{\circ}}{\alpha}=\frac{120^{\circ}}{10^{\circ}}=12$槽，如果U相引出线头 U_1 在第一槽内，则V相或W相的出线头 V_1 或 W_1 应在第13槽内，而第三相W相或V相的引出线头 W_1 或 V_1 应在13＋12＝25槽内，见图1-3（a)所示。

但在修理电动机绕组时发现三相绕组的引出线位置并不是按照上面计算结果进行安放的，见图1-3（b）和图1-3（c）示，那么这三幅绕组引出线位置哪个正确呢？

从理论上讲，这三幅绕组的引出线位置都是正确的，通电后，都可以正常运行。其原因如下：

（1）从槽内直线部分来检查这三幅图都是一样的，也就是说这三种引出线位置虽不同，但都能保证绕组中电流方向、极相组关系都正常。另外各极相组的电流箭头方向也是正确的，都遵守同一相的相邻的极相组中电流箭头方向相反。

（2）每相的相邻的线圈组的连接是头接头，尾接尾，也是正确的。

（3）三相所有极相组的方框图都是按U、V、W；U、V、W……规律排列。

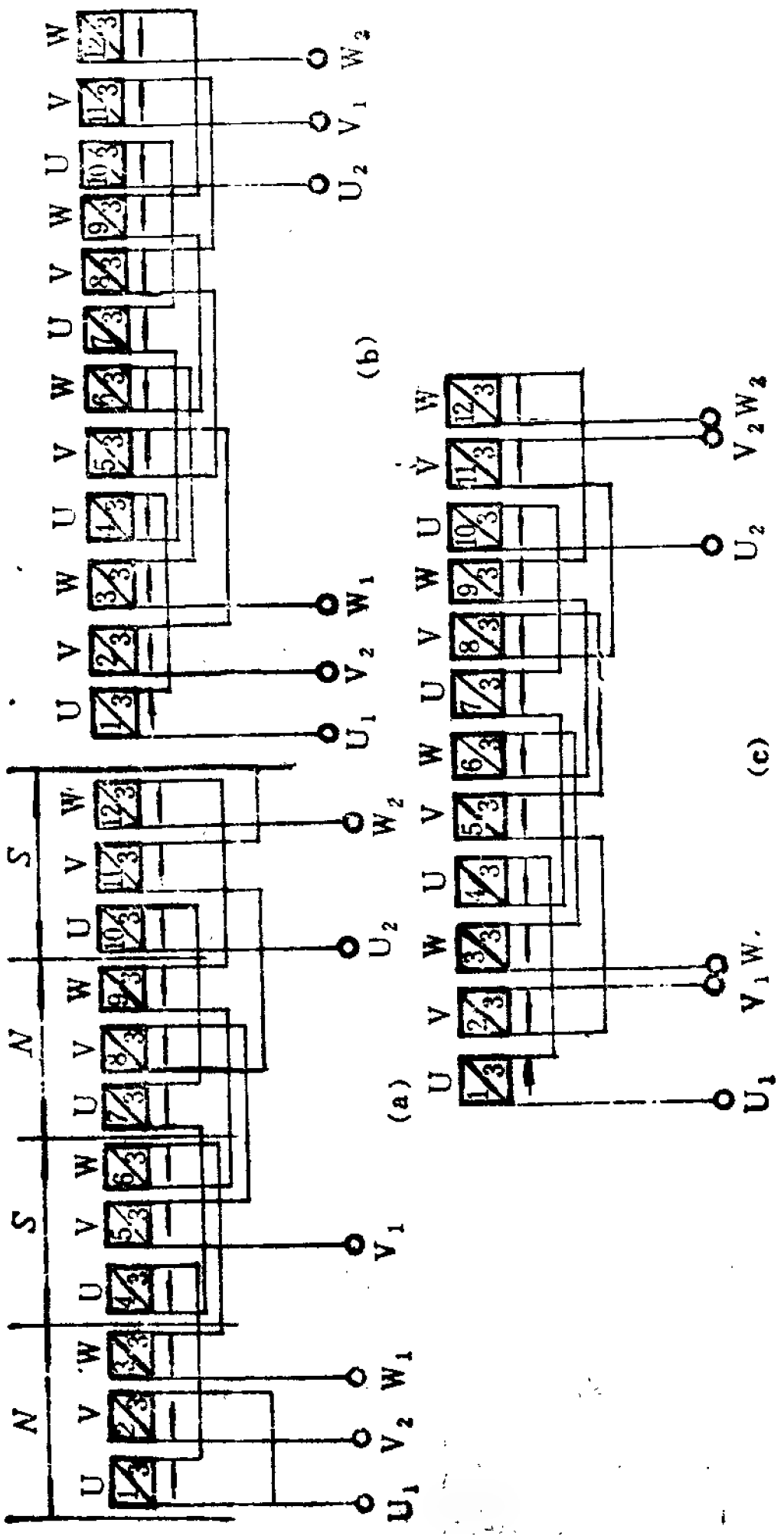

U V W U V W U V W U V W
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
U1 V2 W1
U2 V1 W2
(b)
N S S N
U V W U V W U V W U V W
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
U1 V2 W1 V1 U2 W2
(a)
U V W U V W U V W U V W
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
U1 V1W1 U2 V2W2
(c)

图1-3 三种引出线位置

因此，这种连接规律对于显极式三相双层叠绕组都是正确的。判断其正确与否，一定要看线圈直线部分的安排，因为绕组端部只起连接作用，并不切割主磁通，所以，不影响电磁关系。

但这三幅绕组简图在工艺上是有区别的。

在电机学中讲理论时，总是用图 1-3（a），为了便于学生理解，而在具体施工中，安排引出线时要考虑如下两个方面。

（1）三相引出线要离出线盒位置近些，便于将三相引出线连接到出线盒上。

（2）各相之间的过桥线和连接线应较短，便于嵌线后的连接，节省引线和连线。

图1-3（a）中的三相绕组起端占第1、3、5极相组，占有两个极的范围，引线长，又不方便，当改为图1-3（c）连接时，能使三相绕组起端均在一个极的范围内，三相绕组的末端也在一个极的范围内。这样，不但接线短、省料，而且引出线也比较方便。因此，实际修理电动机时，均采用图 1-3(c)的接线方式进行引出线的连接。

〔1-3〕 三相交流电动机绕组有哪些型式？适用范围如何？

答：常见的三相交流电动机绕组型式及其适用范围如表 1-1 所示。修理电动机时尽量沿用原来的绕组型式，因为制造厂设计电动机时已有全面的设计优化选择。但对于早年出品的老系列电动机，因为限于当时科学技术水平，尚未发现更优越的绕组型式，所以，可以通过修理给予改进，可参考表1-1进行选择。

〔1-4〕 单层绕组都有哪些特点？单层同心式线圈跨距如何计算？

答：单层绕组在小型电动机中（如 5 号机座以下电动机）得到广泛地应用。单层绕组与双层绕组相比较，有以下特点。

（1）槽内只有一个线圈边，属于同相，不存在相间或层间击穿问题。

（2）由于槽内无层间绝缘，降低了槽内绝缘层所占面积，有利于增加槽内铜填充系数。

表1-1 交流电动机绕组型式及适用范围

绕组型式			允许最大并联支路数 a_{max}	适用范围
层数	端部连接方式	绕组排列方式		
单层	同心式	60°相带整数槽绕组	$2p$（q为偶数） p（q为奇数）	常用于5号机座以下2极电动机定子绕组
	同心链式		$2p$（q为偶数） p（q为奇数）	常用于5号机座以下 $q=2$、4、6、8等2、4极电动机定子绕组
	等元件链式		$2p$（q为偶数） p（q为奇数）	常用于5号机座以下 $q=2$ 的2、4、6、8极电动机定子绕组
	交叉式		$2p$（q为偶数） p（q为奇数）	常用于5号机座以下 $q=3$、5、7等的2、4、6、8极电动机定子绕组
双层	叠绕	60°相带整数槽绕组	$2p$	用于6号机座以上各极电动机定子绕组，小型绕线式转子绕组
		分数槽绕组	$2p/p'$（p'为分数q约净后的分母）	常用于多极（8极以上）电动机定子绕组、小型绕线转子绕组
		散布绕组	$2p$	q值较大的中、大型2极电动机定子绕组常应用
		Y-△混合连接绕组	$2p$（q为偶数） p（q为奇数）	适用于极数少的定子绕组
	波绕	分数槽绕组	$2p/p'$（p'为分数q约净后的分母）	用于中、大型绕线转子绕组
		60°相带整数槽绕组	$2p$	常用于大、中型绕线转子异步电动机转子绕组
单双层	同心式	分数槽绕组 60°相带整数槽绕组	$2p$（一相带单层槽数为偶数） p（一相带单层槽数为奇数）	适用于q大于2的中小型异步电动机定子绕组

（3）线圈数目等于槽数一半，节省绕线工时和嵌线工时，便于嵌线机械化，而双层绕组的线圈数目等于槽数。

（4）但单层绕组不易做成短距绕组(注意：工艺短距不是短距绕组)，所以电磁性能比短距双层绕组较差。

（5）绕组端部弯曲变形较大，不易排列和整形。

单层绕组有单层同心式、单层交叉同心式、单层整元件链式、单层交叉链式等几种。

单层同心式绕组是由尺寸和节距不等的线圈连接成的同心形状的线圈组所构成。适用于2极电动机。老式电动机半封闭槽中和可拆式定子绕组中也采用这种型式。

线圈组的跨距先由小跨距开始，使其跨距内能放置另外两相的相带线圈，即$2q$，因为每相带区域为q，因此线圈组各跨距按下面公式计算：

$$y_1 = 1 + 2q$$

$$y_2 = 3 + 2q$$

$$y_3 = 5 + 2q$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$y_4 = (2q-1) + 2q$$

线圈组的平均跨距y_{cp}。

$$y_{cp} = \frac{y_1 + y_4}{2} = 3q = \tau$$

所以，仍是整节距绕组。

图1-4是单层同心式绕组展开图。

〔1-5〕 双层绕组有哪些特点和种类？

答：双层绕组适用于6号机座以上的各种极数的电动机中。通常在10kW以上的三相异步电动机和同步电动机中得到广泛的应用。这种绕组特点是每槽内嵌有上下两层线圈边，层间有层间垫条，所有线圈尺寸相同，所以线圈端部排列整齐，能够灵活地选择合适的线圈节距，从而改善电磁性能。有些小型电动机，将其

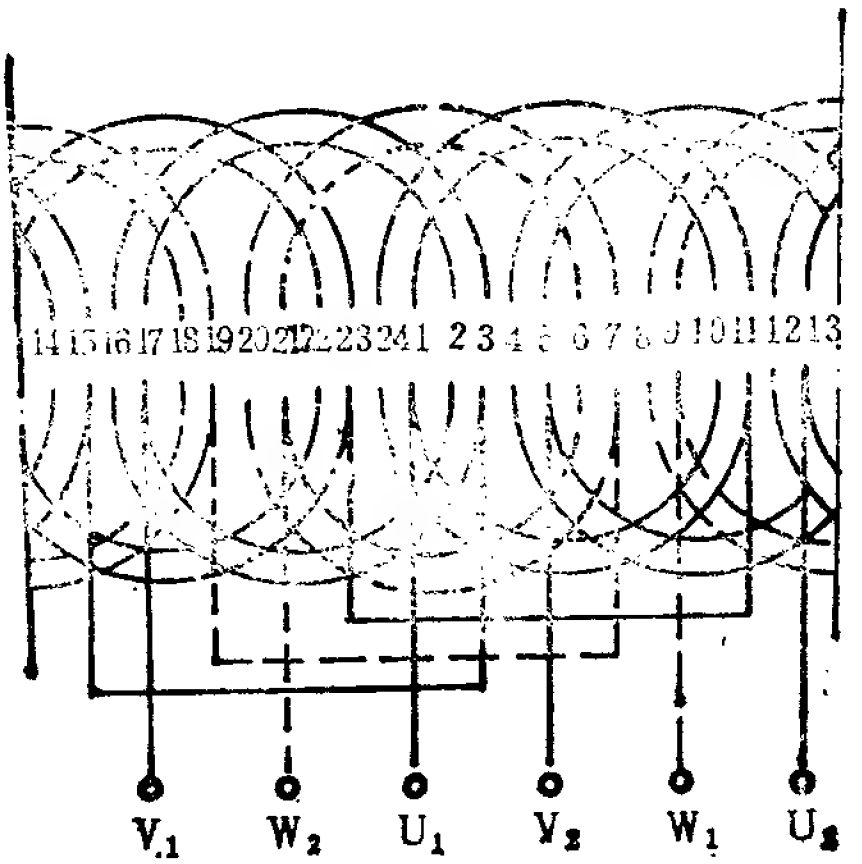


图1-4　单层同心式绕组展开图

单层绕组改为双层绕组后，不但节省用铜，还能提高效率。

常用的双层绕组有双层叠绕组、双层波绕组，以及同心式双层绕组。由于 q 不同，又分为整数槽绕组和分数槽绕组。分数槽绕组又有对称和非对称之别。

（1）双层叠绕组。嵌线时，后一个线圈紧叠在前一个线圈上面，每槽均有两个线圈边，上下边用层间垫条垫开，这种绕组称为双层叠绕组。图1-5是双层叠绕组的展开图。

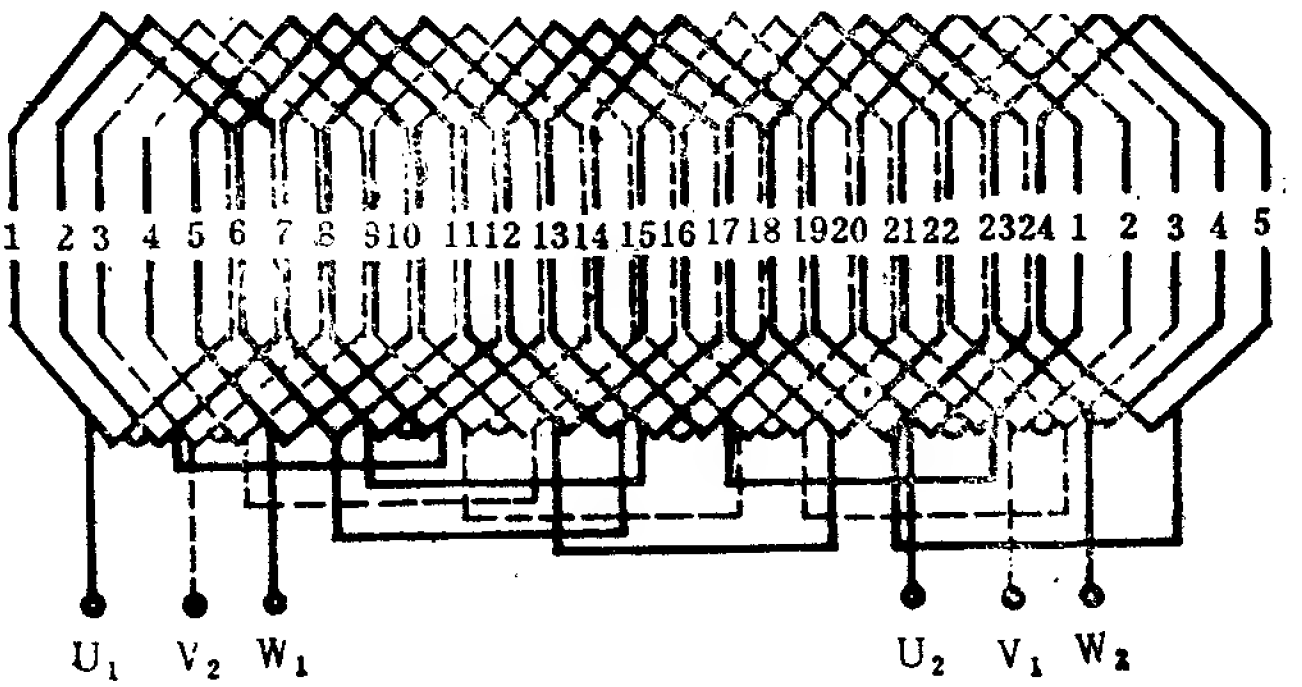


图1-5　双层绕组展开图

（2）同心式双层叠绕组。将普通双层短距绕组改变同一极相组的导线之间的联接次序，使这一极相组的各绕组元件轴线重合，便可得到同心式双层叠绕组。

它具有双层短距绕组的电气性能，又具有同心式绕组的工艺特点。

（3）双层波绕组。两个相邻的串联元件沿绕制方向波浪前进，故称为波绕组。这种绕组的特点是线圈组间连接线少，在整数槽绕组中还可以采用端部无连接线的同槽跳接法，使每相绕组只有两个出线头，便于引线布置。由于连接线少，又对称，所以适用于绕线转子电动机的转子绕组上。图1-6和图1-7是常见的波绕组展开图。图1-6是6极90槽三相波绕组端部接线展开图绕组在槽内的接线序号，前节距 y_1 为1—16，后节距 y_2 为1—16，短节距 y_3 为1—15。

图1-7为10极105槽三相波绕组端部接线展开图绕组在槽内的接线序号，前节距 y_1 为1—12，后节距 y_2 为1—11，前短节距 y_3 为1—11，后短节距 y_4 为1—10。

〔1-6〕 什么叫散布绕组、△-丫混合绕组和单双层混合绕组？都有哪些特点？

答：

（1）散布绕组。一般双层绕组的极相组中 q 个串联线圈是在铁心槽内连续分布的，可称为“整布”绕组，如果改变一个相带所属的 q 个元件的分布情况，使每个相带中 q 个元件不连续分布，这种绕组叫散布绕组。

通常是把60°相带排列的绕组中每一相带首末槽中线圈边与相邻相带对应槽中的线圈边相互交换，便可到得散布绕组。

采用散布绕组能够降低某些谐波磁势的分布系数，所以能有效地削弱谐波磁场。

表1-2是1-2-1排列的散布绕组，不同的 q 值可以排出1-(q— 2)-1的排列的散布绕组。

（2）△-丫混合绕组。这也叫三相正弦绕组或30°相带绕组。它

上 下 上 下 上 下 上 下 上 下 上 下 上 下 上 下 上 下

K_1 1 -16-31-46-61-76-90-15-30-45-60-75-89-14-29-44-59-74-
88-13-28-43-58-73-87-12-27-42-57-72

K_2 16 31-46-61-76- 1 -15 30-45-60-75-90-14-29-44-59-74-89-
13-28-43-58-73-88-12-27-42 57-72-87

L_1 21-36-51-66-81- 6 -20-35-50-65-80- 5 -19-34-49-64-79- 4 -
18-33-48-63-78- 3 -17-32-47-62-77- 2

L_2 36-51 66-81- 6 -21-35-50-65-80- 5 -20-34-49-64-79- 4 -19-
33-48-63-78- 3 -18-32-47-62-77- 2 -17

M_1 71-86-11-26-41-56-70-85-10-25-40-55-69-84- 9 -24-39-54-
68-83- 8 -23-38-53-67-82- 7 -22-37-52

M_2 86-11-26-41-56-71-85-10-25-40-55-70-84- 9 -24-39-54-69-
83- 8 -23-38-53-68-82- 7 -22-37-52-67

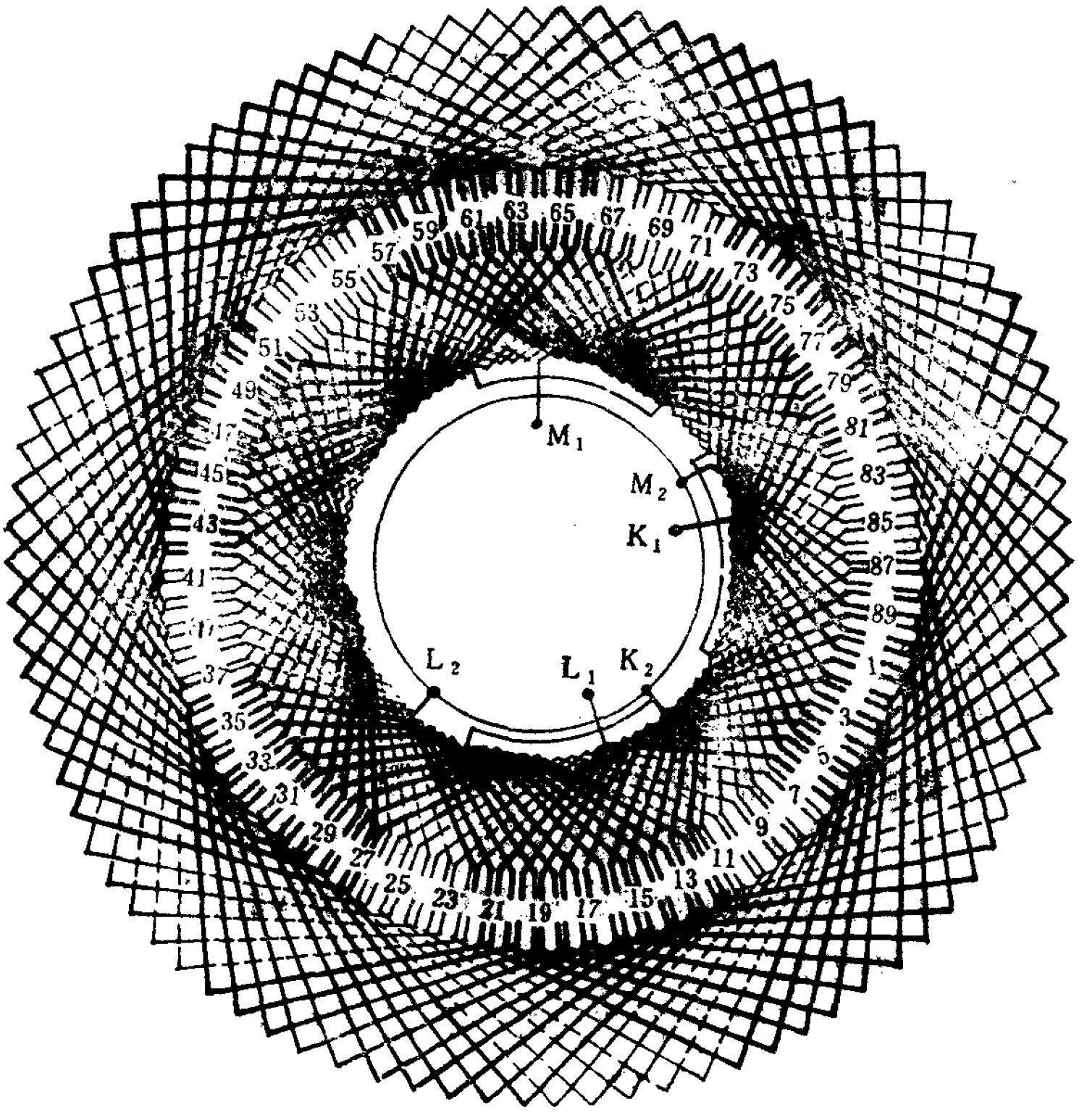


图1-6　6极90槽波形绕组端部接线展开图

	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	
	1	11	22	32	13	53	64	74	85	95	105	10	21	31	42	52	63	73	
K_1	84	94	104	9	20	30	11	51	62	72	83	93	93	82	72	61	51	40	
	30	19	9	103	94	83	73	62	52	41	31	20	10	104	95	84	74	63	
	53	42	32	21	11	105	96	85	75	64	54	13	33	22	12	1			K_2
	36	46	57	67	78	88	99	1	15	25	35	45	56	66	77	87	98	3	
L_1	14	24	34	44	55	65	76	86	97	2	13	23	23	12	2	96	86	75	
	65	54	44	33	24	13	3	97	87	76	66	55	45	34	25	14	4	98	
	88	77	67	56	46	35	26	15	5	99	89	78	68	57	47	36			L_2
	71	81	92	102	8	18	29	39	50	60	70	80	91	101	7	17	28	38	
M_1	49	59	69	79	90	100	6	16	27	37	48	58	58	47	37	26	16	5	
	100	89	79	68	59	48	38	27	17	6	101	90	80	69	60	49	39	28	
	18	7	102	91	81	70	61	50	40	29	19	8	103	92	82	71			M_2

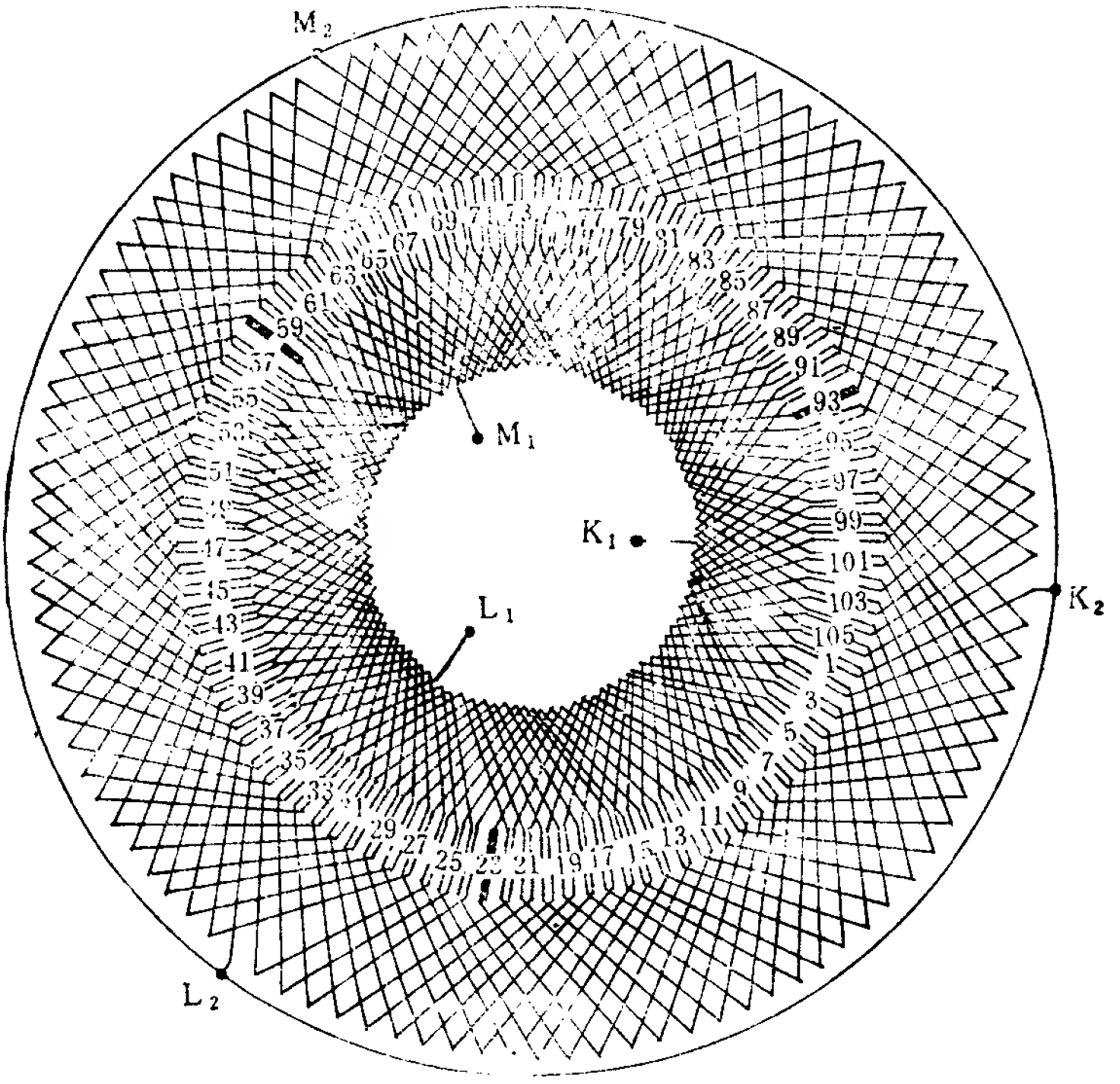


图1-7　10极105槽波形绕组端部接线展开图

表1-2　60°相带绕组及散布绕组的排列（$q=4$）

槽　　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60°相带绕组排列	A	A	A	A	$\overline{C}$	$\overline{C}$	$\overline{C}$	$\overline{C}$	B	B	B	B
散布绕组排列	$\overline{B}$	A	A	$\overline{C}$	A	$\overline{C}$	$\overline{C}$	B	$\overline{C}$	B	B	$\overline{A}$
槽　　号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
60°相带绕组排列	$\overline{A}$	$\overline{A}$	$\overline{A}$	$\overline{A}$	C	C	C	C	$\overline{B}$	$\overline{B}$	$\overline{B}$	$\overline{B}$
散布绕组排列	B	$\overline{A}$	$\overline{A}$	C	$\overline{A}$	C	C	$\overline{B}$	C	$\overline{B}$	$\overline{B}$	A

的组成是将普通60°相带绕组的每极每相槽数为q的q个线圈分成两部分，即把q分成q_Δ和q_Y部分，见图1-8（a）、（b），然后把所有的q_Δ部分线圈按一般连接规律接成△接，再把所有q_Y线圈部分也按一般规律接成丫接，则把60°相带的一套绕组变成了30°相带的两套绕组，这两套绕组再接成△或⏃。△叫延边三角形绕组，⏃叫△-丫混合绕组。

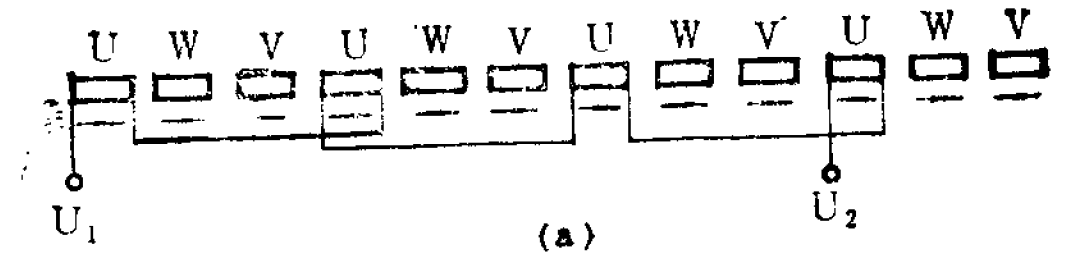
丫绕组中的电流比△绕组中电流滞后30°电角度，所以定子槽中总电流在任一瞬间沿圆周分布更接近正弦形，所以叫三相正弦绕组。图1-8（c）是48槽、4极三相电动机改△-丫混合绕组各相线圈的接线图，图1-8（d）是其△和⏃绕组的接线图。这种绕组的优点：

①　有效地消除或削弱高次谐波，改善电势磁势波形，从而改善电动机性能。

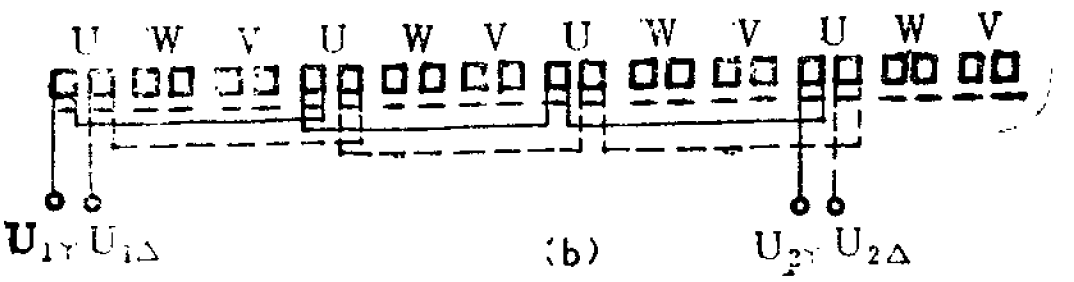
②　提高绕组系数，降低损耗，提高电动机效率2%～4%。

③　能提高电动机的输出功率和功率因数。

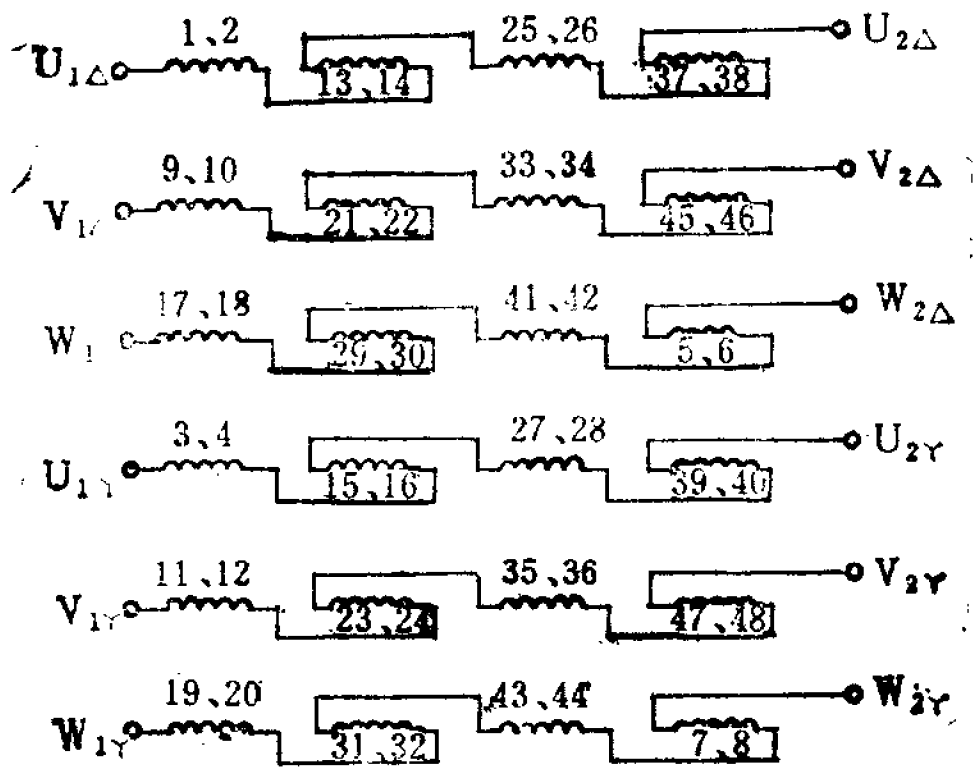
（3）单双层混合绕组。单双层混合绕组实质上是短距双层绕组。将普通短距双层绕组在同槽内属于同相的两个线圈边改成单层线圈，把同槽内不同相的线圈边仍保持双层型式，这样就构成了既有双层又有单层绕组的单双层混合绕组。



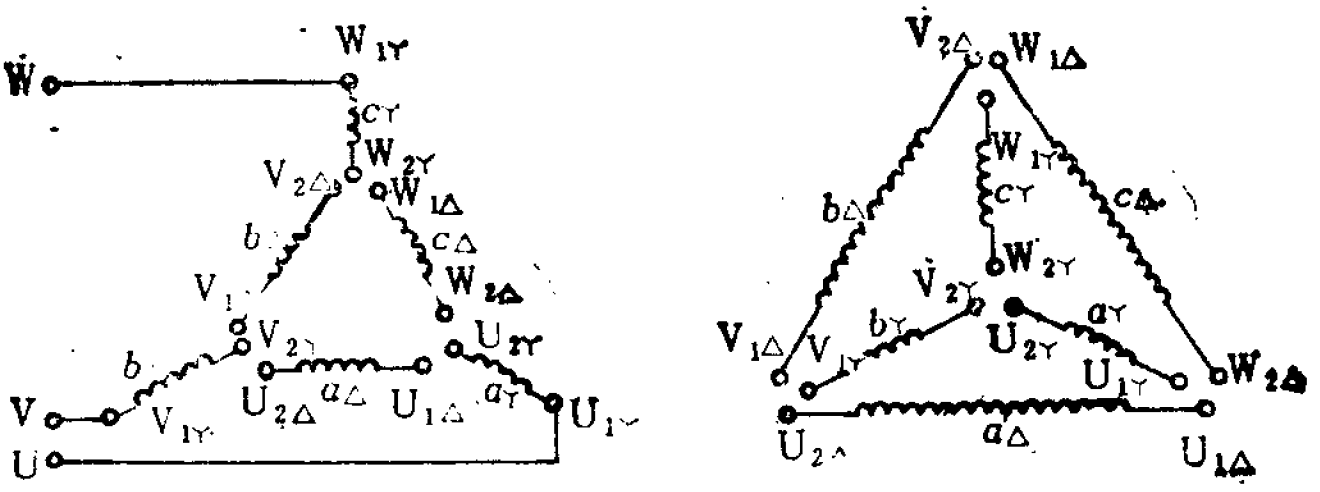
(a)



(b)



(c)



(d)

图1-8　三相 48 槽 4 极△-Y 混合绕组接线图

(a)60°相带绕组接线简图　(b)改△-Y 混合绕组接线简图

(c)各相线圈的连接图　(d)人型和△型接线图

图1-9是5.5kW 2 极电动机的双层绕组展开图，从图中看出，同相线圈边的槽号有 1 、 2 、 5 、 6 、 9 、10、13、14、17、18、21、22，把它们改成单层线圈，其余槽内线圈保留双层绕组型式，并改成同心式，则得到单双层混合绕组（图1-10）。

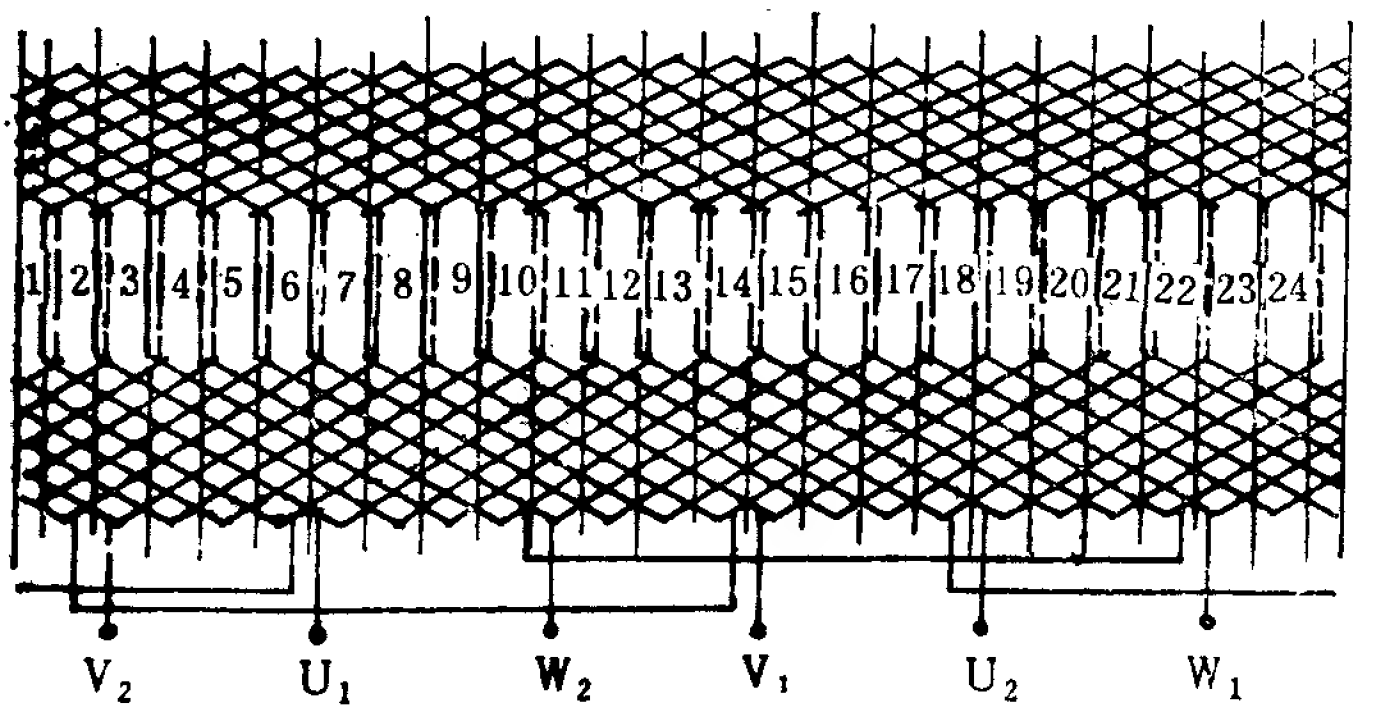


图1-9　三相 2 极短距双层绕组展开图

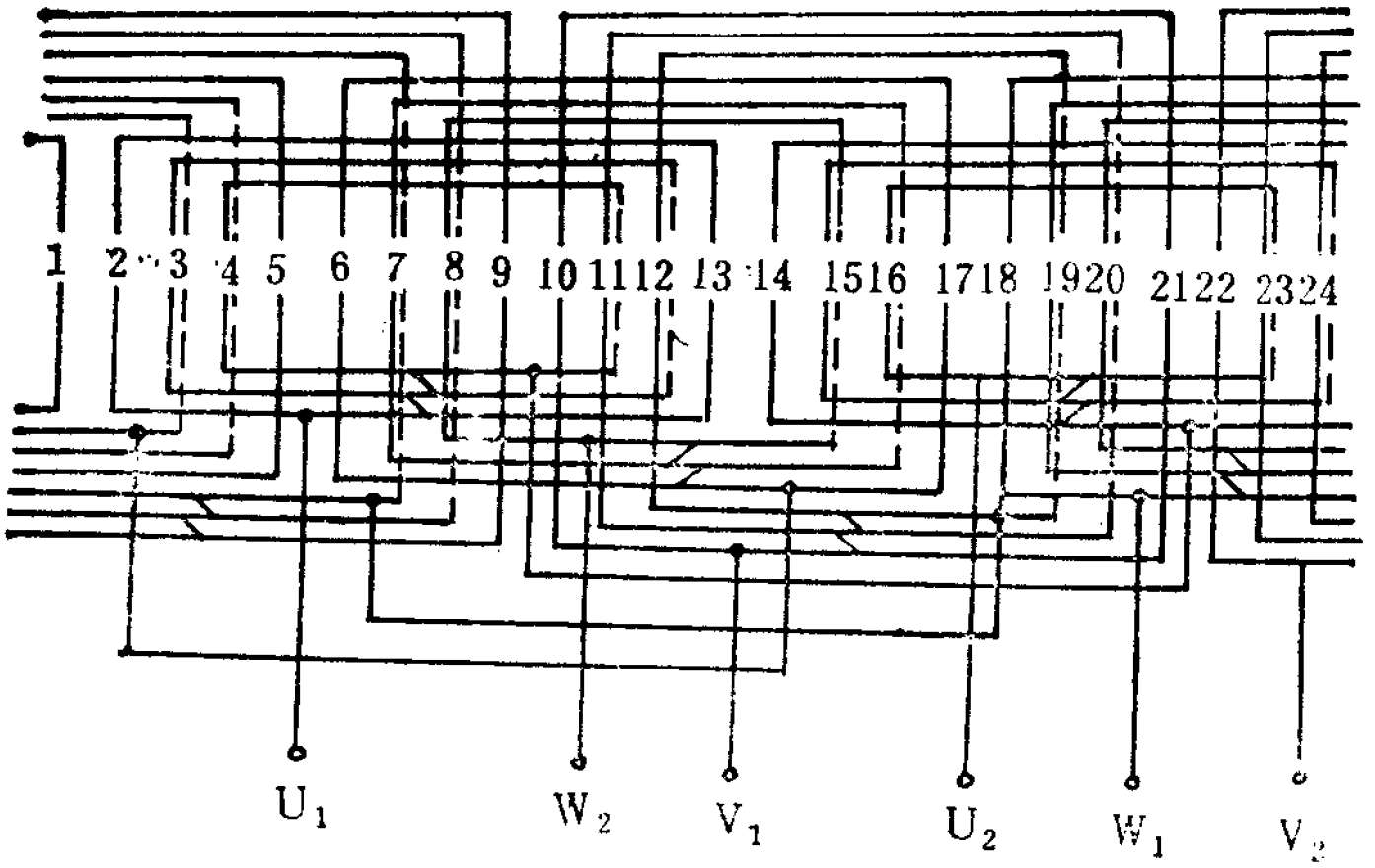


图1-10　改制单双层混合绕组展开图

〔1-7〕 怎样分析和改进绕组型式？常碰到的错误改法有哪些？

答：图1-11给出三相 4 极48槽的四种不同的连接方式，图中

只画出单层的一个线圈组的展开图，每极每相槽数q为 4 个。

虽然有四种连接方式，但它们的平均节距没有改变，槽内电流方向未变，所以电动机的电磁性能基本不变，仅仅是线圈端部连接线的接线方式不同而已。但在工艺上还存在许多差别。

图1-11（a）是各线圈尺寸相同（或叫等元件）的单层整距绕组。由于各线圈尺寸相同，所以制作绕线模和绕制线圈方便，但在端部各线圈之间有许多交叉点〔见图1-11（a）中的a、b、c点〕，容易造成端部线圈之间的电击穿，并且费铜。

图1-11（b）是单层同心式绕组型式，由于各线圈尺寸不一致，制作绕线模费工、端部增厚，比图1-11（a）费铜，但是嵌线方便，端部线圈不存在线圈组之间的交叉点。

图1-11（c）是单层同心式交叉绕组。这种绕组型式的优点是嵌线方便，比图1-11（b）省铜，但也存在图1-11（b）的线圈尺寸不一致的缺点。

图1-11（d）是单层线圈尺寸相同的交叉式绕组。这种绕组省铜，嵌线也方便，线圈尺寸一致，但端部尚存在交叉点，不过比图1-11（a）少多了。

在具体选择绕组型式时，要慎重对待，科学分析，否则会得到相反的结果。在检修当中经常碰到下面几种错误做法。

（1）单纯图嵌线方便，随意把双层绕组和单层交叉式绕组改成单层同心式绕组。比如，常见的是将三相 2 极的 28kW 电动机改成单层同心式绕组（俗称“六大包”）。改制结果造成铜线浪费，线圈端部臃肿，端部绕组顶端盖，铜耗增加，电动机温升过高。目前单层同心式绕组已基本不用，改为“裂开的”线圈组型式，比如 $q=4$ 个，改为两个线圈组成同心组，另外两个线圈构成另外的同心组，这两个同心组线圈在相邻槽边构成 q 等于 4 个。见图1-11中，将图1-11（b）改为图1-11（c），使端部长度缩短，绕组型式更合理。至于 q 为奇数，如 $q=3$，则变成单层交叉链式绕组型式。对于 2 极电动机绕组是采用同心交叉式绕组型式。

（2）把连续相带绕组改成断续相带绕组(图1-12)，引起电动

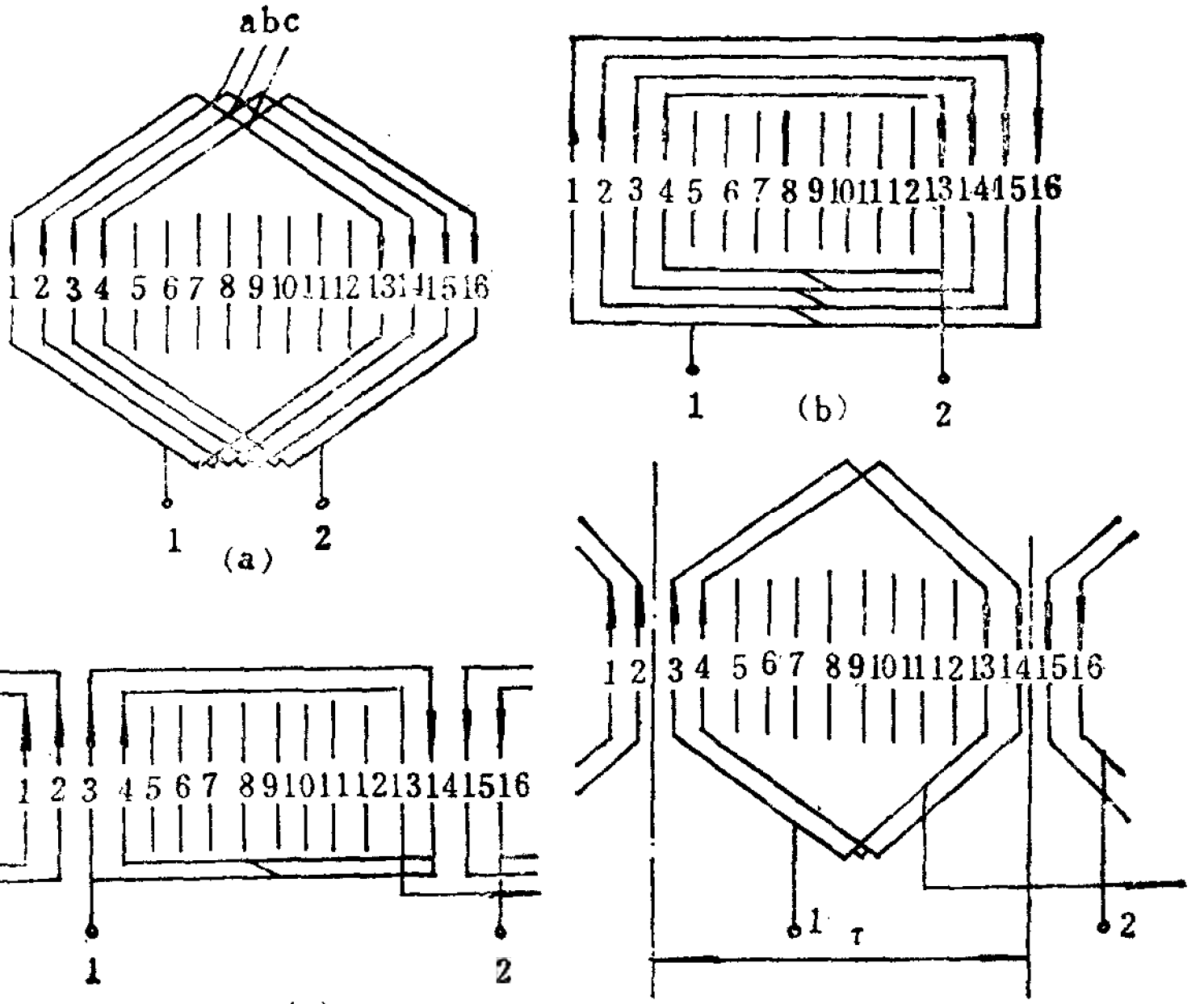


图1-11　三相 4 极 48 槽线圈组的各种连接方式比较

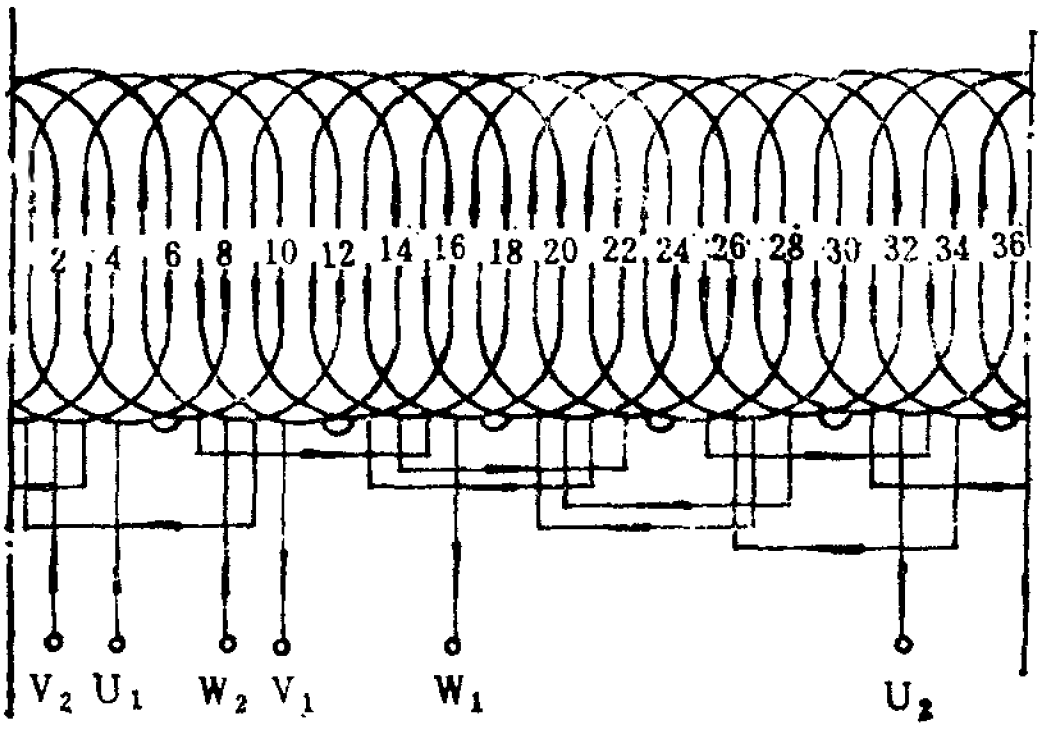


图1-12　三相 4 极 36 槽电动机有断续相带的单链绕组展开图

机磁通势分布不均，铁耗增大，使电动机起动性能变坏。

（3）把单双层混合绕组改成单层交叉式绕组(如JO3系列，三相4极36槽电动机绕组)，结果造成电动机温升高，噪声大，空载电流超限。

以上不正确的做法，不仅对节能不利，也使电动机性能变坏，因此要引起注意。本书将从节能着眼介绍一些绕组改制方法。

〔1-8〕 三相绕组接线规律是什么？怎样连接成△，丫绕组？

答：三相异步电动机的三相绕组是接在三相对称的交流电源上运行的，为了使三相绕组中的电压和电流平衡，所以要求三相绕组中每一相的线圈数目、每线圈匝数、线圈型式，以及线圈在铁心内分布情况均要一致。只有这样，三相绕组才能产生三相均衡的旋转磁场，保证电动机的正常运行。

三相绕组构成的规律是：三相绕组是由每相绕组组成，而每相绕组是由每个极相组串或并联组成，每个极相组是由许多相同的或不同型式的线圈构成。为了三相绕组对称，每相线圈数目应等于三相总线圈数目的$\frac{1}{3}$，也就是每相线圈数目$=\frac{\text{总线圈数目}}{\text{相数}}=\frac{\text{总线圈数目}}{m}$。

对于双层绕组，因每个槽内嵌有两个线圈边，而每只线圈也有两个线圈边，所以总线圈数目等于电动机总槽数Z_1，即每相线圈数目$=\frac{Z_1}{m}=\frac{Z_1}{3}$。对于单层绕组，虽然每个线圈也有两个边，但每槽中只嵌入一个线圈边，所以单层绕组的总线圈数目等于槽数Z_1的一半。即每相线圈数目$\frac{Z_1}{2m}=\frac{Z_1}{6}$。

另外，每极线圈数目：对于双层绕组为$\frac{Z_1}{2p}$，对于单层绕组为$\frac{Z_1}{4p}$，每极槽数$\tau_p=\frac{Z_1}{2p}$。

下面以实例说明三相绕组的安排规律。

例：具有6极，54槽三相异步电动机，双层绕组，每相线

圈数目$=\frac{Z_1}{m}=\frac{54}{3}=18$（个）

每极线圈数目$=\frac{Z_1}{2p}=\frac{54}{6}=9$（个）

极相组数$=2pm=6\times3=18$（个）

另外，在三相绕组中，每个极距τ内的线圈数目都分成三相（见图1-13），通入三相电流，因此可计算出每极每相槽数$q=\frac{Z_1}{2pm}$

$=\frac{54}{6\times3}=3$。

从图1-13看出，在第一个极距τ_1内，有U、V、W三相线圈。每极每相槽数为3个，所以每个线圈组（即每极每相的线圈数）是由三个串联的线圈所构成。每相邻的极相组中电流方向应是相反的，目的是构成N、S极性，所以按照这个规律可画出三相绕组展开图。

下面就上例来说明线圈分配规律。

（1）因为是双层绕组，所以线圈数目等于槽数，此例$q=3$，即每三个线圈串联在一起，构成一个线圈组，每个线圈组中所有线圈中的电流流动方向应是一致的。因此，这三个线圈应是首尾相连接。

（2）又知每个极内有$\frac{Z_1}{2p}=\frac{54}{6}=9$(个)线圈，这9个线圈分布在一个极距范围内。这9个线圈再被相数除，得到每极每相的线圈数，也就是$q=3$个。在每个极距内划出每相的线圈，用U、V、W标志。

（3）总的三相绕组共分成6个极距，用τ_1、τ_2、$\tau_3\cdots\tau_6$表示，每个极距内又分成U、V、W三相，每个极距内每个相的线圈组（即每极每相槽数）由三个串联线圈组成。

（4）将各线圈组的电流方向标上箭头，规律是相邻极相组中电流方向要相反。

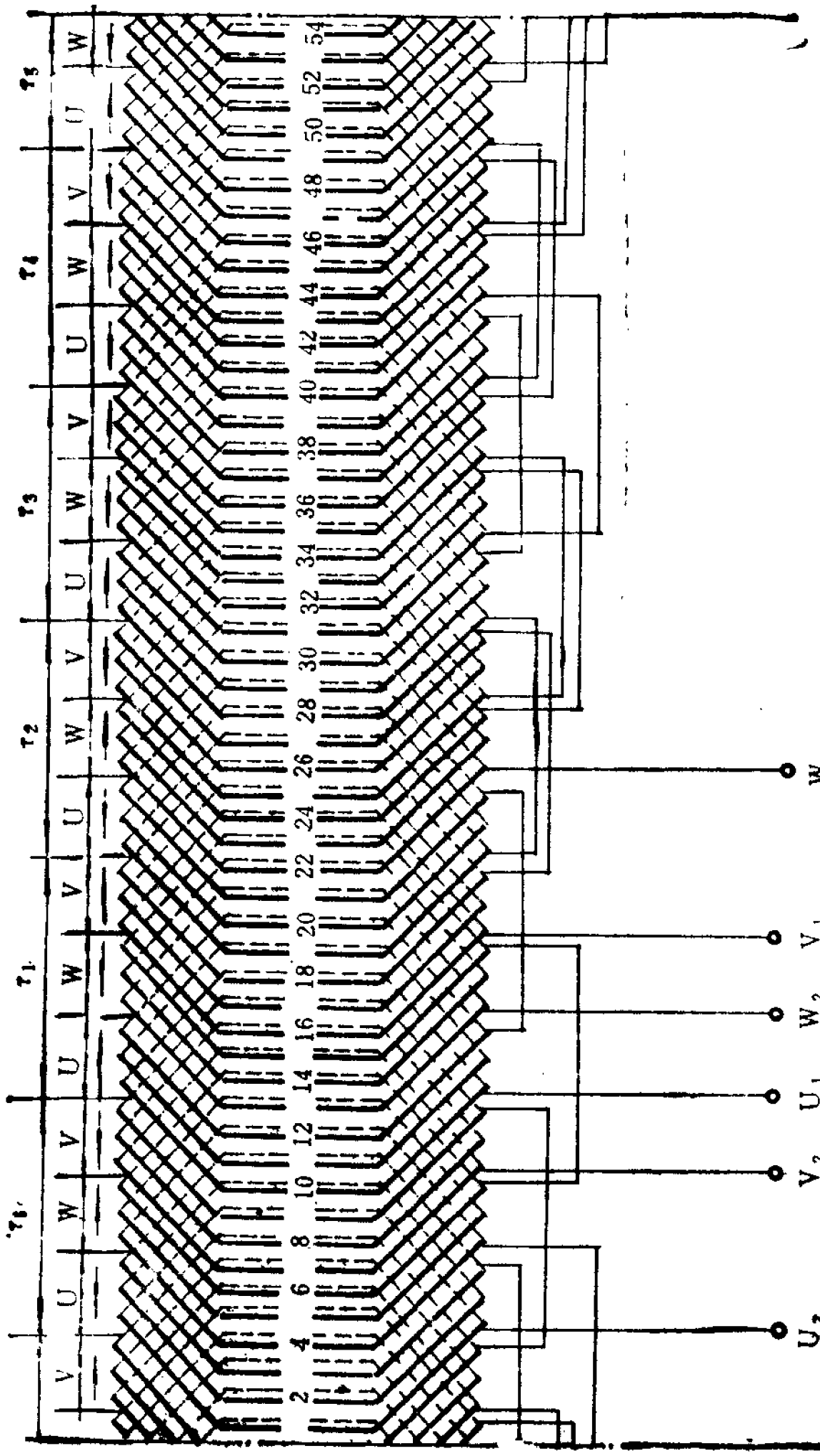


图1-13　三相6极54槽电动机双层叠绕组展开图

$m=3$　$2p=6$　$Z_1=54$　$\tau=9$　$q=3$　$y=8$　$a=1$

（5）将所有U相的各极下的线圈组按电流方向连接在一起（串联或并联），构成相绕组。属于一相内的各极相组中电流方向表示磁极的极性：N、S、N、S、N、S共6个极性。显然这是显极性接法。以U相为例，构成U相绕组的首、尾端用 U_1、U_2 表示。同理，可得到V相绕组的首、尾端用 V_1、V_2 表示，W相绕组的首、尾端用 W_1、W_2 表示。

当把三相绕组的尾端 U_2、V_2、W_2 连接在一起，则构成丫绕组的中性点，再把三相的起头 U_1、V_1、W_1 接在三相交流电源上，便构成丫接绕组。

当把 U_2 与 V_1 连接、V_2 与 W_1 连接、W_2 与 U_1 连接，然后把 U_1、V_1、W_1 引出，接在三相交流电源上，便构成△接绕组。

图1-14（a）表示丫接绕组，图1-14（b）表示△接绕组。

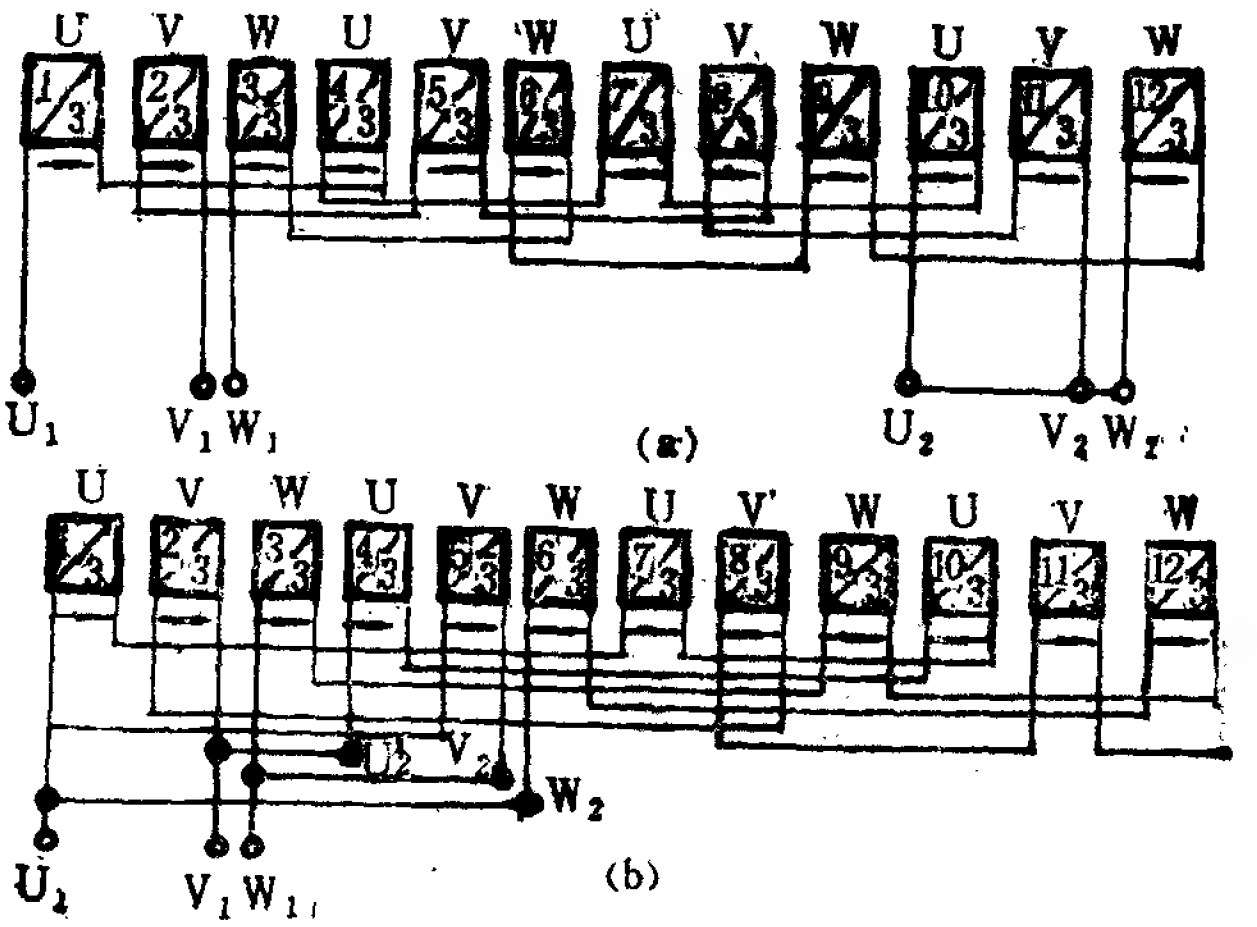


图1-14　三相绕组连接简图

(a) Y接法　(b)△接法

〔1-9〕 什么叫绕组的庶极接法、显极接法？什么叫长连接、短连接？

答：

（1）庶极接法也叫隐极接法，图1-15（a）是三相、24槽、

4极的绕组隐极接线，从图中看出每相的线圈组为2，而且电流方向是相同的，于是构成相同的磁极性，比如构成N、N极，那么4极电动机另外的两个S、S极在哪里呢？根据电磁学原理，磁极的极性是成对出现的，也就是磁力线是封闭的，因此另外两个S、S极应在N、N两磁极中间构成无形的磁极，因此叫隐极接法或叫庶极接法。由此可见，绕组所产生的极数为极相组数的两倍。

隐极绕组连接的规律是每相相邻线圈组以终端相串联，并且是正向串联。这种庶极接法一般不使用，但在多速电动机中常遇到。

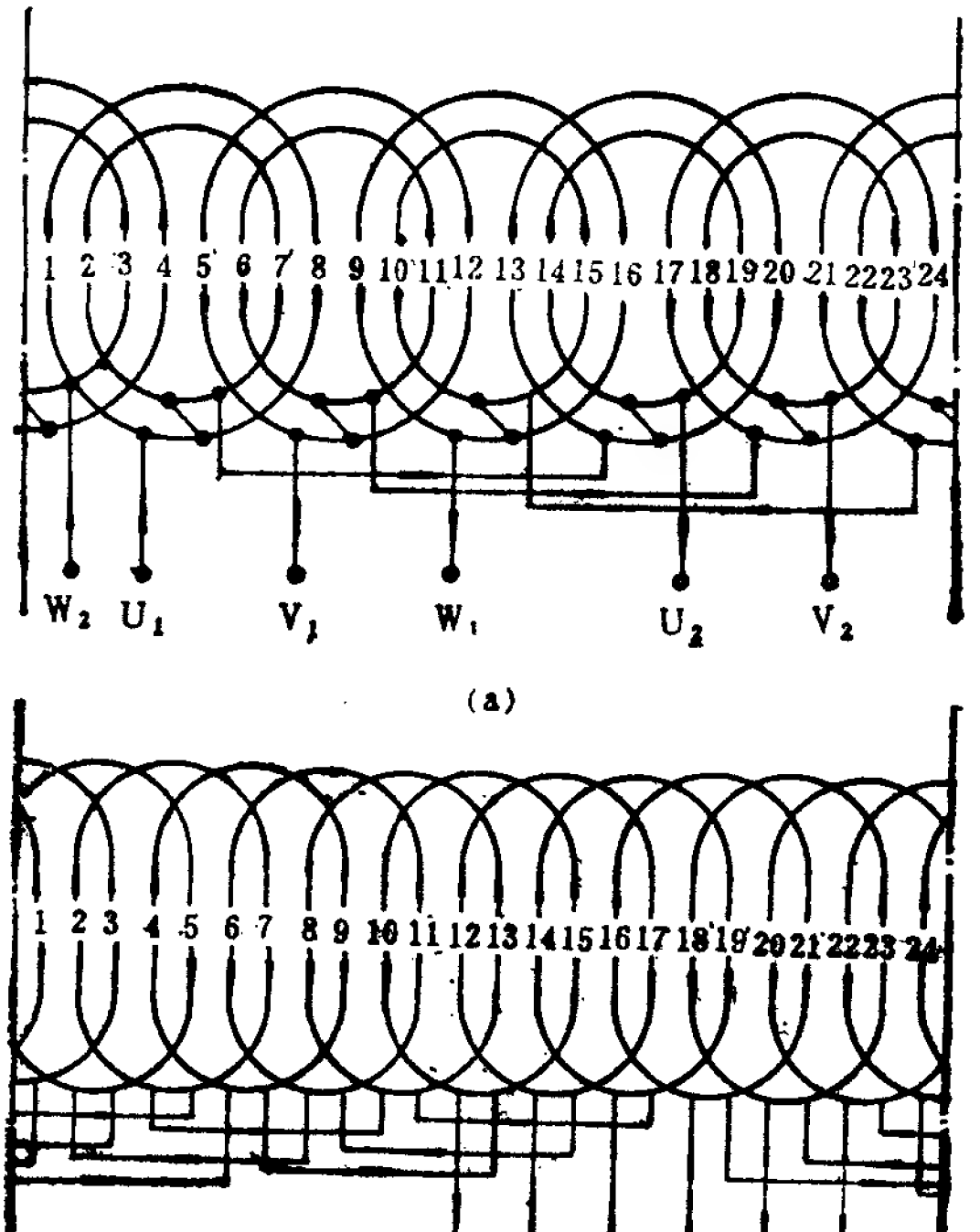


图1-15　三相4极24槽绕组接线图

(a)隐极(庶极)接法　(b)显极接法

图1-15（b）是显极接法，从此图中看出绕组所产生的磁极数等于每相绕组的极相组数，这是常遇到的绕组接法。

（2）短连接是每一并联支路内所连接的所有线圈集中在定子圆周的一半范围内，图1-17（a）是短连接方式。长连接是每一并联支路的所有线圈分布在整个圆周上，图1-17（b）是长连接方式。所以短连接也叫集中连接，长连接也叫分布连接。

三相异步电动机气隙较小，当电动机气隙不均匀时，气隙圆周上各点的磁拉力不同，磁拉力大小将与各点气隙磁通密度平方成正比变化，如果绕组采取长连接方式，每相各线圈组分布在定子铁心圆周，所以即使气隙不均匀，各支路流过的相电流也会均衡不均的磁场，从而均衡了单边磁拉力，减少电动机噪声和振动，同时也减轻轴承的负担。但一般修理电动机时，为了减少接线长度，都是选用短连接，只有大中型电动机或多速电动机才选用长连接。对于噪声大、振动较强的电动机，可考虑改为长连接，并且选用最大可能的并联支路数。至于同步电动机气隙较大，如果平时运行不振动，可用短连接方式，因为这种电动机即使气隙不均匀，对电动机影响不象三相异步电动机那样明显。

〔1-10〕 如何画出单层交叉链式、等元件单层链式绕组展开图？

答：

（1）单层交叉链式绕组是由线圈个数和节距不相等的两组线圈组构成的。

当 q 为奇数时，一个线圈组由 $\frac{q+1}{2}$ 个串联线圈组成，另一个线圈组是由 $\frac{q-1}{2}$ 个串联线圈组成。例如 $Z_1=36$，$2p=4$，则 $q=\frac{Z_1}{3\times 2p}=\frac{36}{3\times 4}=3$，所以一个线圈组由1个线圈构成，另一个线圈组是由2个线圈串联构成。

图1-2是36槽、4极三相的单层交叉链式绕组展开图。它是

由线圈节距 $y_1=8$（两个大线圈）和 $y_2=7$（一个小线圈），$a=1$ 构成。由于是显极接线，所以每相的线圈组数等于磁极数，各线圈组反连接。

（2）等元件单层链式绕组是由形状、尺寸和节距相同的线圈连接而成，所以适用于 q 为偶数情况。半个线圈组的线圈数等于 $\frac{q}{2}$，线圈跨距为：$y=1+2q$。

例：三相 8 极，48槽绕组，求线圈节距？

解：
$$q=\frac{Z_1}{2pm}=\frac{48}{8\times 3}=2$$

$$y=1+2q=1+2\times 2=5$$

图 1-16 是其绕组展开图。

〔1-11〕 三相绕组的接线简图如何画法？

答：三相绕组中的每一相绕组是由同一相内各极相组所组成，比如 4 极三相绕组，有 $4\times 3=12$（个）极相组（也叫线圈组），而每相的极相组是由 $\frac{12}{m}=\frac{12}{3}=4$（个）线圈组所构成。每个线圈组又由 q 个串联线圈组成，q 就是每极每相槽数，对于双层绕组来说，也就是每个线圈组串联的线圈数目，即：$q=\frac{Z_1}{2pm}$。

从上式看出，如果电动机相数 m 和极数 $2p$ 不变，则 q 随 Z_1 增加而增加，比如三相12极电动机，当 $Z_1=36$ 时，$q=1$，表示每个线圈组内只有 1 个线圈；当 $Z_1=144$ 时，则 $q=\frac{144}{3\times 12}=4$，每个线圈组内有 4 个线圈串联组成。可见，在相同的 m和 $2p$ 条件下，对应每一个 q 值，则有一个绕组展开图，显然这是很麻烦的。现在如果把 q 个串联线圈所构成的线圈组做为一个单元，并且用一个矩形图框表示，它可以代表$q=1$、2、…任意数，这样就可以把实际的绕组展开图只画出用极相组为单元的绕组简图来表示，这在修理电动机时，经常要用到的(图1-17所示)，有时也可

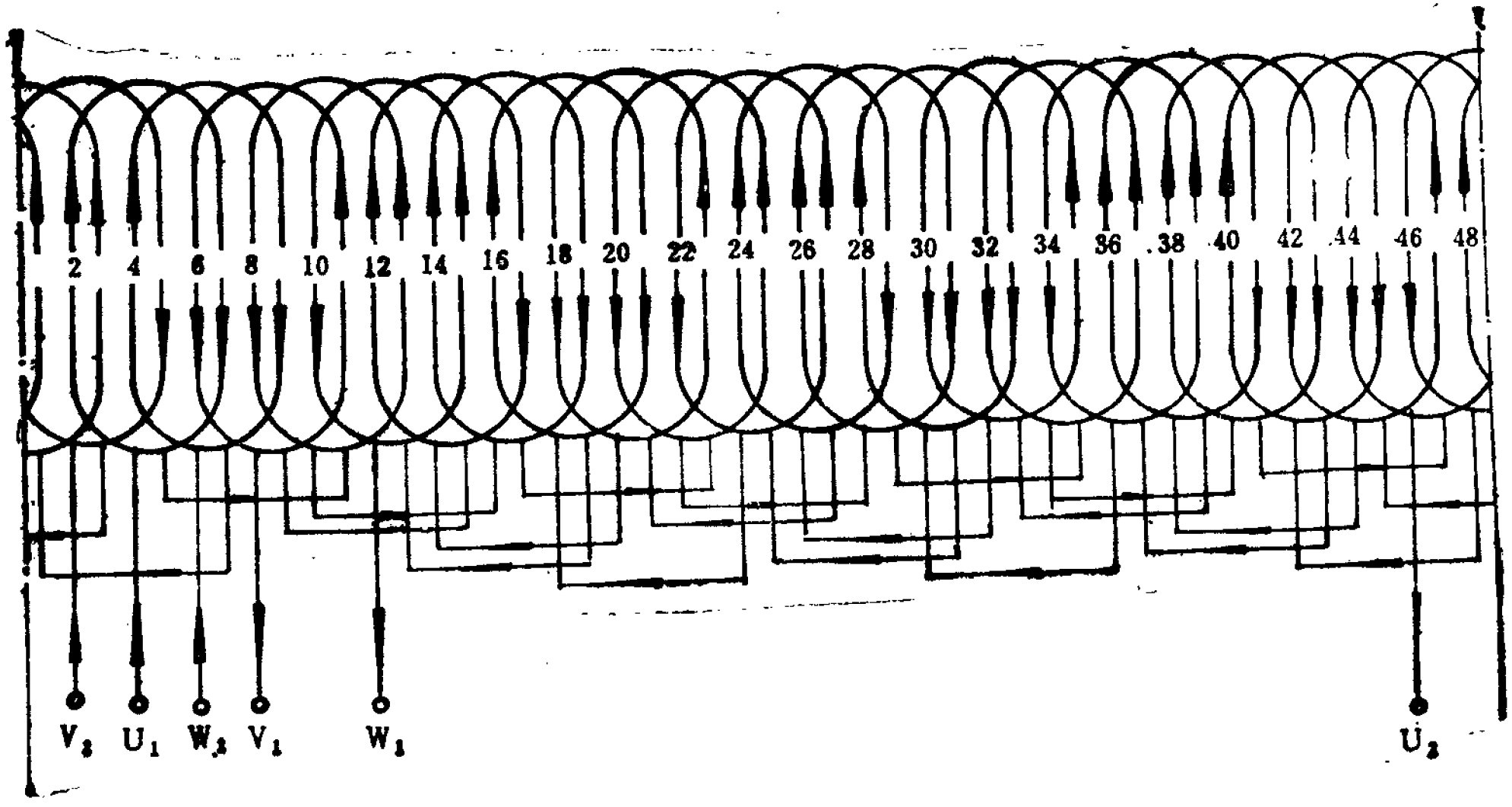
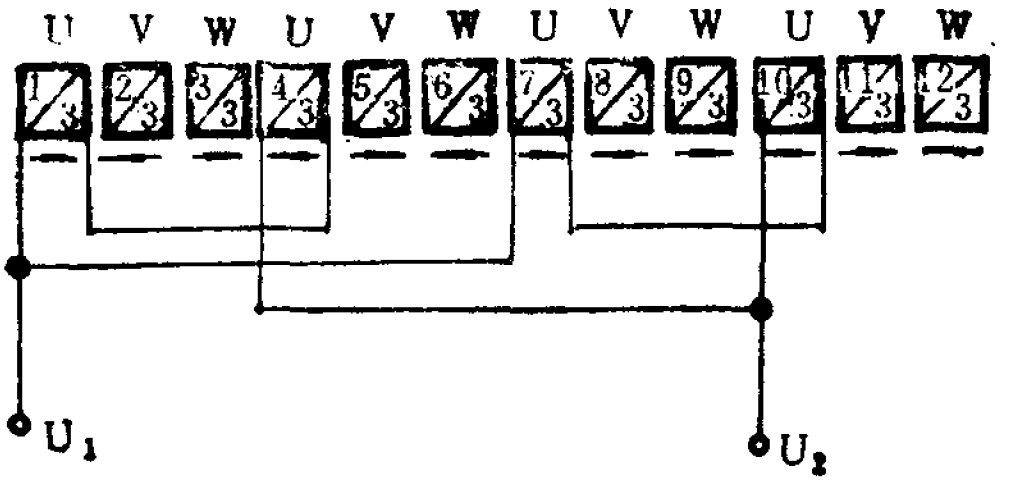
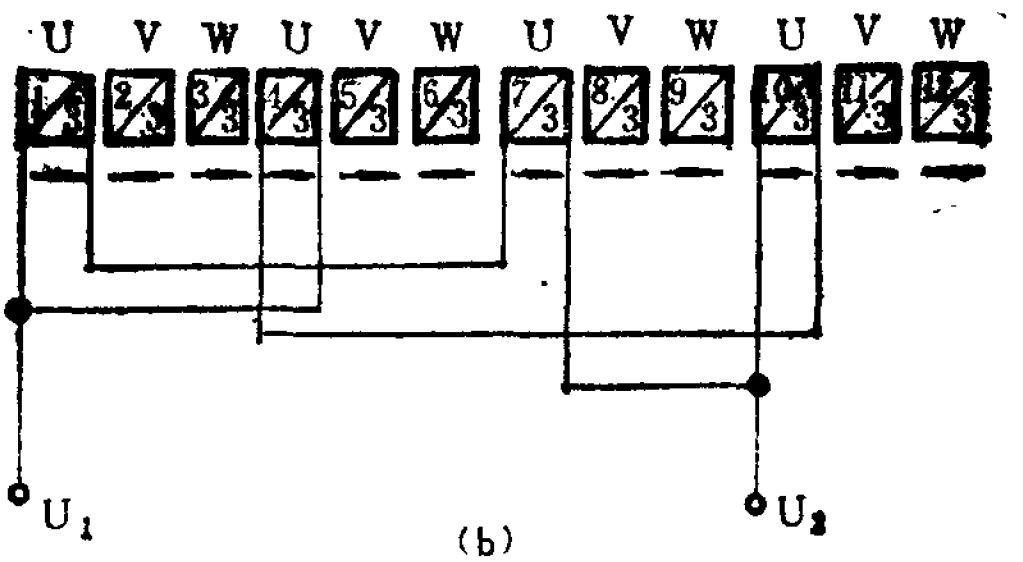


图1-16　三相8极48槽电动机单层链式绕组展开图



(a)



(b)

图1-17　三相4极连接绕组简图

(a)短连接　(b)长连接

以画成圆形简图(如图1-18所示)。

例： 4极三相双层绕组，极相组数目为 $2pm = 4 \times 3 = 12$ (个)，所以只画12个矩形框图即可，如图1-17所示。但这个简图却代表了三相4极槽为12、24、48、60、72、122……，可见这种简图简化了画图手续。

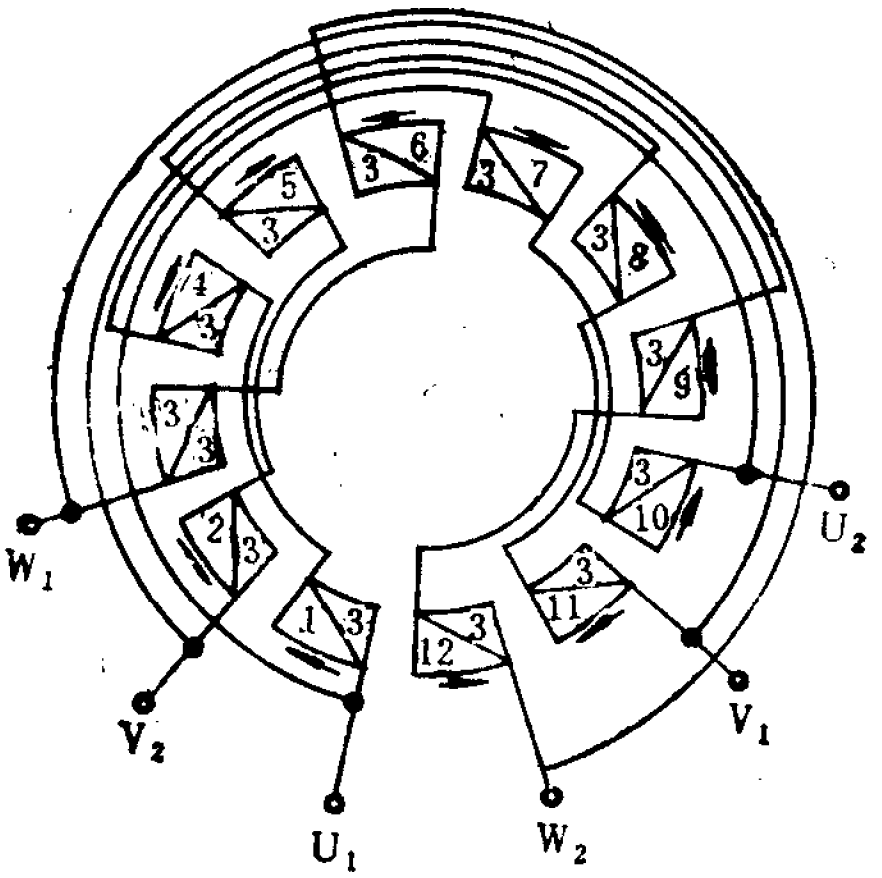
图1-18是三相4极绕组圆形简图。

画三相绕组简图的步骤，仍以图1-17的绕组简图为例：

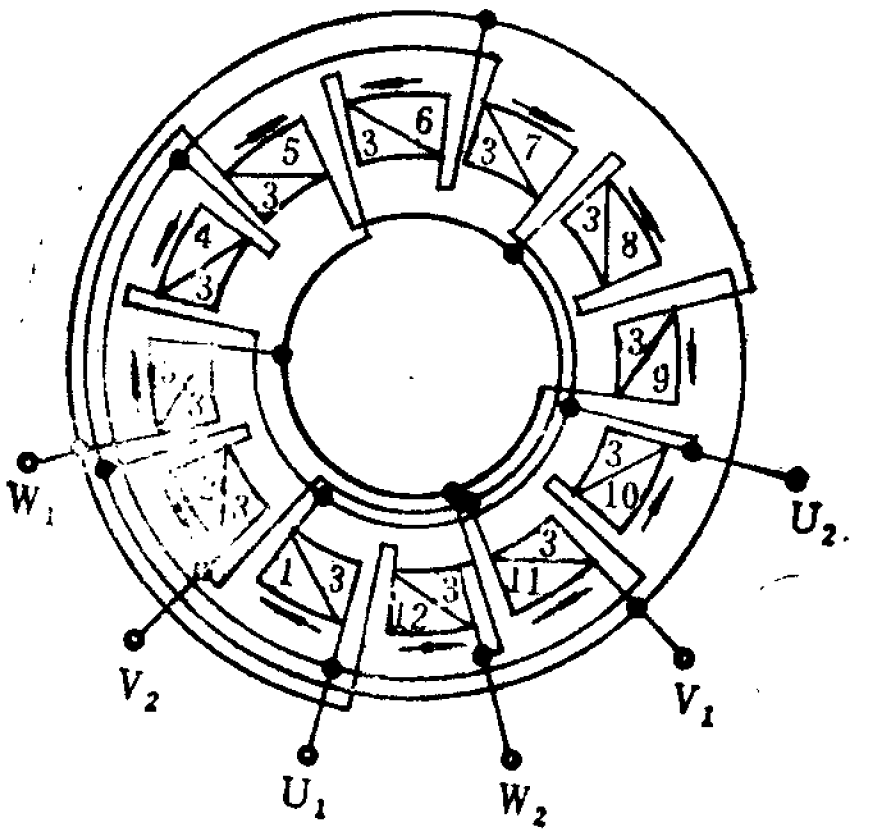
（1）因有12个极相组，所以用12个矩形图框代表 q 个线圈。矩形图内横线上方表示极相组编号、横线下方表示相数。

（2）每三个相邻的极相组（即三个矩形图）构成一个极，共四极，每个极内分U、V、W三相。

（3）在矩形图上部标出相属，如U、V、W或U、W、V等。



(a)



(b)

图1-18　三相 4 极电动机双叠绕组圆形简图

(a)$a=2$　(b)$a=4$

（4）在矩形图下部标出各极相组的电流正方向，因为相邻极相组中电流方向是相反的，表示磁极的极性相反，所以应按一正一负规律标出。

（5）将同一相的各极相组按箭头所示方向连接起来(串联或

并联)。在同一相的相邻极相组的电流方向是相反的，对于串联绕组（$a=1$），应首接首，尾接尾。

〔1-12〕 三相对称分数槽绕组如何进行排列？

答：电动机绕组每极每相槽数 q 为分数时，称为分数槽绕组。一般将 q 值写成下面形式：

$$q=\frac{Z}{6p}=b+\frac{c}{d}=\frac{bd+c}{d}=\frac{N^*}{d}$$

式中 c 与 d 互为质数

Z——电动机总槽数

p——极对数

N^*——每个循环中所包含的线圈数目

（1）构成双层分数槽绕组的对称条件：

① b、c、d 均为整数，c、d 互为质数。

② $\frac{Z}{m}$=整数。

③ $\frac{d}{m}\neq$整数，对于三相绕组 d 不等于 3 或 3 的倍数。

④ $\frac{2p}{d}$=整数。

式中 m 为相数，d 为 q 值的分母

（2）排列方法：由于 q 为分数，不能像整数槽那样使每个极相组都由相同数目的线圈串联组成，否则无法施工。因此，各线圈组必须由各不相等的线圈数目组成。比 q 值大些的线圈组叫大线圈组，比 q 值小些的线圈组叫小线圈组，它们的线圈数目差一个线圈。比如：$q=2\frac{3}{10}$，大线圈组串联线圈数为 2 + 1 = 3，小线圈组的线圈数为 2 。

大、小线圈组沿铁心圆周必须均匀排列，否则电动机不能正常运行。为了实现线圈组均匀分配，必须由 d 个线圈组（即 d 个极相组）中取出 $bd+c$ 个线圈，这 $bd+c$ 个线圈组成 d 个线圈组，其中有大线圈组和小线圈组，按一定规律分配。因为每经过 d 个

线圈组开始重复循环，所以把 d 称为一个循环（或一个周期）。

由于一个循环占有 $bd+c$ 个槽（因双层绕组，槽数等于线圈数），所以总绕组有N个循环数，按下式计算：

$$N=\frac{Z}{bd+c}=\frac{2pm}{d}$$

循环数N必须是整数，否则分数槽绕组无法分配。

设在一个循环周期内的线圈组包含大线圈组的数目为 $A_{1大}$，小线圈组的数目为 $A_{1小}$，总线圈组数目为 A_1，则 $A_1=d=A_{1大}+A_{1小}$，即：

$$bd+c=b(A_{1小})+(b+1)A_{1大}$$

上式两端用 b 除，经整理得出：

$$d+\frac{c}{b}=(A_{1小}+A_{1大})+\frac{A_{1大}}{b}=d+\frac{A_{1大}}{b}$$

所以 $A_{1大}=c$

$$A_{1小}=d-A_{1大}=d-c$$

说明在一个循环线圈组内，小线圈组数目等于 q 值的分母与分子之差，而大线圈组数目等于 q 值的分子。

整个三相绕组中大线圈组的数目 $A_{大}$ 和小线圈组的数目 $A_{小}$ 之和等于电动机极相组数 $2pm=A$，即：

$$A=A_{大}+A_{小}$$

$$A_{大}=A_{1大}N=c\frac{2pm}{d}=\frac{c}{d}A=\frac{c}{d}2pm$$

$$A_{小}=A_{1小}N=(d-c)\frac{2pm}{d}=\frac{d-c}{d}A=\frac{d-c}{d}=2pm$$

例： 三相绕组，总槽数 $Z=66$，8 极，求 $A_{1大}$、$A_{1小}$、$A_{大}$、$A_{小}$、N、A值。

解：
$$q=\frac{Z}{2pm}=b+\frac{c}{d}=\frac{66}{3\times 8}=2+\frac{3}{4}$$

其中 $b=2$，$d=4$，$c=3$

$$A_{1小}=d-c=4-3=1$$

$$A_{1大}=c=3$$

$$A_1 = A_{1小} + A_{1大} = 1 + 3 = 4$$

$$N = \frac{2pm}{d} = \frac{3 \times 8}{4} = 6$$

$$A_{大} = A_{1大}N = 3 \times 6 = 18$$
$$A_{小} = A_{1小}N = 1 \times 6 = 6$$
$$A = A_{大} + A_{小} = 24$$

（1）线圈组简易排列法。为了简化，使 $b = 0$，仅依据 $\frac{c}{d}$ 确定大、小线圈组数和在一个循环内分配，得到分配规律后再把 b 值加进去。通常考虑两种情况：$\frac{c}{d} < \frac{1}{2}$，$\frac{c}{d} > \frac{1}{2}$。

在第一种情况下，一个大线圈组经过一个小线圈组或几个小线圈组而循环，排列形式如下：1、0，1、0、0，1、0、0、0等。

在第二种情况下，一个小线圈组经过一个大线圈组或几个大线圈组而循环，排列形式如下：0、1，0、1、1，0、1、1、1等。

例：$q = 2\frac{7}{17}$

$$b = 2，\ b + 1 = 3，\ c = 7，\ d = 17$$
$$A_{1小} = d - c = 10，\ A_{1大} = c = 7，\ d = A_1 = 17$$

说明在一个循环内由17个线圈组构成，其中包含10个小线圈组和7个大线圈组所组成，它们必须均匀分配，按上述规律在一个循环内，各线圈组分配规律如下：

1 0　1 0　1 0 0　1 0　1 0 0　1 0　1 0 0

把整数 $b = 2$ 加入后，得到

3 2 3 2 3 2 2 3 2 3 2 2 3 2 3 2 2……

当然这种线圈组的分配不是唯一的，还可得出下列两个方案：

3 2 3 2 2 3 2 3 2 2 3 2 3 2 2 3 2

3 2 2 3 2 3 2 2 3 2 3 2 2 3 2 3 2

例： $q=3\frac{11}{19}$

$b=3$，$b+1=4$，$c=11$，$d=19$

$A_{1大}=c=11$，$A_{1小}=d-c=19-11=8$

$A_1=d=19$

计算结果表明在一个循环内由8个小线圈组和11个大线圈组所组成。它们必须在一个循环内均匀分布，当$b=0$时，一个循环内各线圈组排列如下：

0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1，……

将$b=3$加进去后，得到

3 4 3 4 4 3 4 3 4 4 3 4 3 4 3 4 4 3 4，……

也可能排出下面两个方案：

3 4 4 3 4 3 4 3 4 4 3 4 3 4 4 3 4 3 4

3 4 4 3 4 3 4 4 3 4 3 4 3 4 4 3 4 3 4

（2）查表法：

例1：一台三相异步电动机，已知$q=3\frac{4}{7}$，求线圈组排列方法（14极，150槽）。

查表1-3，得出1 0 1 0 1 0 1，……

将$b=3$代入，得到一个循环内线圈组的分配规律：4、3、4、3、4、3、4，……

由于$N=\frac{Z}{bd+c}=\frac{150}{3\times7+4}=6$，所以有6个循环，即

$$\underbrace{4\ 3\ 4\ 3\ 4\ 3\ 4,\ \ 4\ 3\ 4\ 3\ 4\ 3\ 4\cdots\cdots 4\ 3\ 4\ 3\ 4\ 3\ 4,}_{6\text{个循环}}$$

极相组数共有$2pm=14\times3=52$个。最大允许并联路数为$\frac{2p}{d}=\frac{14}{7}=2$。

例2：$q=4\frac{3}{8}$，$b=4$，$\frac{c}{d}=\frac{3}{8}$，$Z=105$，$2p=8$，

查表1-3得：1 0 1 0 0 1 0 0，……

表1-3　三相对称分数槽绕组线圈组排列表

每极每相槽数q	线圈组分配规律	最大允许并联路数
1/2	1 0	$2p/2$
1/4	1 0 0 0	$2p/4$
3/4	1 1 1 0	
1/5	1 0 0 0 0	$2p/5$
2/5	1 0 1 0 0	
3/5	1 1 0 1 0	
4/5	1 1 1 1 0	
1/7	1 0 0 0 0 0 0	$2p/7$
2/7	1 0 0 1 0 0 0	
3/7	0 1 0 1 0 1 0	
4/7	1 0 1 0 1 0 1	
5/7	1 1 1 0 1 1 0	
6/7	1 1 1 1 1 1 0	
1/8	1 0 0 0 0 0 0 0	$2p/8$
3/8	1 0 1 0 0 1 0 0	
5/8	1 1 0 1 1 0 1 0	
7/8	1 1 1 1 1 1 1 0	
1/10	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0	$2p/10$
3/10	1 0 0 1 0 0 1 0 0 0	
7/10	1 1 1 0 1 1 0 1 1 0	
9/10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 0	
1/11	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	$2p/11$
2/11	1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0	
3/11	1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0	
4/11	1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0	
5/11	1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0	
6/11	1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0	
7/11	1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0	
8/11	1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0	
9/11	1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0	
10/11	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0	

将 $b=4$ 代入，得 5、4、5、4、4、5、4、4，……

$N=\frac{Z}{bd+c}=\frac{105}{4\times 8+3}=\frac{105}{35}=3$，说明上面的循环共有3次。

最大允许并联路数为 $\frac{2p}{d}=\frac{8}{8}=1$，说明这个绕组不能接成并联。

〔1-13〕 三相非对称分数槽绕组如何进行排列？

答：

（1）三相非对称分数槽绕组特点。三相对称分数槽绕组的三相电势幅值相等，三相电势相角互差120°电角度，但在非对称分数槽绕组中不能满足上述条件。

构成三相非对称分数槽绕组的条件是：

① 当 q 值的分母 d 等于 3 或 3 的倍数；

② 总槽数 Z 不是相数 m 的倍数。

在电动机修理改极重绕计算时，把极数改制为 6 极或 6 极的倍数时，常碰到非对称分数槽绕组的型式。例如三相48槽 4 极改制 6 极时，$q=2\frac{2}{3}$，是非对称分数槽绕组。在修理中应尽量避免使用这种绕组，因为在三相电势幅值或相角不平衡条件下，绕组内能产生循环电流，此电流大小取决于绕组不对称的程度。循环电流引起绕组发热、电动机噪声增大和振动。但是，当不对称程度不太大时，还是允许使用的。

另外，三相非对称分数槽绕组的接线有下列几个特点：

① 均匀分配各线圈比较复杂。

② 最大可能并联路数受到限制。

③ 由于有循环电流，三相绕组接线宜采用丫接，不要用△接，更不要用⧋接。

（2）非对称程度的确定。只有非对称程度在允许范围内，才允许使用这种绕组。将 q 写成下面形式：

$$q=\frac{bd+c}{d}=\frac{N^*}{d}\quad(\text{注：}N^*=bd+c)$$

N^* 越大，电动机绕组的非对称程度越小，比如$\frac{N^*}{d}=\frac{5}{3}$的绕组比$\frac{N^*}{d}=\frac{7}{3}$的绕组的非对称程度要大。

根据修理经验，当$N^*\geqslant 6$时，非对称分数槽绕组是允许使用的，因为这时三相绕组的相角偏差等于3°，相电势幅值偏差在1.5%以内，不会引起电动机明显的性能变化。

（3）排列方法：

① 线圈组分配的循环数$N=\frac{2p}{d}$

每循环中大和小线圈组数为：

$$A_{1大}=\frac{2p}{N},\quad A_{1小}=\frac{4p}{N}$$

例1：$Z=60$，$2p=6$的三相绕组，计算大小线圈组数和循环数N？

解：$q=\frac{Z}{2pm}=\frac{60}{6\times 3}=3\frac{1}{3}$　　其中$b=3$，$b+1=4$，$c=1$，$d=3$

$$N=\frac{2p}{d}=\frac{6}{3}=2,\quad A_{1大}=\frac{2p}{N}=\frac{6}{2}=3,$$

$$A_{1小}=\frac{4p}{N}=\frac{4\times 3}{2}=6$$

② 当$d=3$时，有两个方案：$\frac{c}{d}=\frac{1}{3}$和$\frac{c}{d}=\frac{2}{3}$。当$\frac{c}{d}=\frac{1}{3}$时，设三相总线圈组数目为A，则大线圈组数$A_{大}=\frac{1}{3}\times 6p=2p$

小线圈组数$A_{小}=A-A_{大}=6p-2p=4p$

当$\frac{c}{d}=\frac{2}{3}$时，$A_{大}=\frac{2}{3}\times 6p=4p$，$A_{小}=6p-4p=2p$

③ d等于3的倍数，在$\frac{c}{d}$为真分数时，通常有两个方案：

$\frac{c}{d}=\frac{1}{6}$和$\frac{c}{d}=\frac{5}{6}$

当$\frac{c}{d}=\frac{1}{6}$时，　　$A_{大}=\frac{1}{6}\times 6p=p$　　$A_{小}=A-A_{大}=5p$

当$\frac{c}{d}=\frac{5}{6}$时，　　$A_{大}=\frac{5}{6}\times 6p=5p$　　$A_{小}=6p-5p=p$

例2：三相绕组，$Z=78$，$2p=12$，计算$A_{大}$、$A_{小}$和A、N值？

解：　　$q=\frac{Z}{2pm}=\frac{78}{12\times 3}=2\frac{1}{6}$

其中　$b=2$，$b+1=3$，$c=1$，$d=6$

$$N=\frac{2p}{d}=\frac{12}{6}=2$$

$$A=6p=6\times 6=36$$

$$A_{1大}=\left(\frac{c}{d}\right)\frac{A}{N}=\frac{1}{6}\times\frac{36}{2}=3$$

$$A_{1小}=\left(\frac{d-c}{d}\right)\frac{A}{N}=\frac{5}{6}\times\frac{36}{2}=15$$

（4）查表法：

例：三相绕组，48槽，4极改6极，求线圈组分配规律？

解：　　$q=\frac{Z}{2pm}=\frac{48}{3\times 6}=2\frac{2}{3}$

三相绕组总线圈组数（或极相组数）$A=2pm=6\times 3=18$，其中大线圈组数$A_{大}=4p=4\times 3=12$，小线圈组数$A_{小}=2p=2\times 3=6$。

循环数$N=\frac{2p}{d}=\frac{6}{3}=2$。

每个循环内，大线圈组数$A_{1大}=\frac{A_{大}}{N}=\frac{12}{2}=6$，

每个循环内，小线圈组数$A_{1小}=\frac{A_{小}}{N}=\frac{6}{2}=3$。

查表 1-4 按$\frac{c}{d}=\frac{3}{3}$，得出一个循环内的线圈组分配为 1 0 1 0 1 1 1 1 0，加上 $b=2$ 后，得到分配为 3 2 3 2 3 3 3 3 2。

表1-4　三相非对称分数槽绕组线圈组排列表

每极每相槽数 q	线圈组分配规律	最大允许并联路数
1/3	1 0 0 0 0 1 0 1 0	2p/3
2/3	1 0 1 0 1 1 1 1 0	
1/6	1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0	2p/6
5/6	1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0	
1/9	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0	2p/9
2/9	1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0	
4/9	1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0	
5/9	1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 0	
7/9	1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0	
8/9	1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0	
1/12	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	2p/12
5/12	1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0	
7/12	1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0	
11/12	1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0	

三相绕组的18个线圈组分配规律是

3 2 3 2 3 3 3 3 2 3 2 3 2 3 3 3 3 2

U V W U V W U V W U V W U V W U V W

所以有：

U相　3 2 3 3 2 3

V相　2 3 3 2 3 3

W相　3 3 2 3 3 2

每相横向线圈数相加均为16个线圈平衡，各相竖向线圈相加均为 8 也是平衡，说明这种排列是正确的。

〔1-14〕 如何选择绕组的并联支路数？并联支路数与电动机振动有关系吗？

答：多并联支路数应用于容量较大的电动机绕组中，因为电动机容量大，电流也大，电流密度受电动机温升限制不可取得太高，所以线圈导线截面积要增加，导线截面积增加后对于绕制和嵌线工艺带来困难，所以解决办法是除了增加并绕根数之外，还要采取并联支路数来解决。

每相绕组匝数近似与外施电压成正比，当并联支路数增加一倍时，适应电动机的外施电压应降低50%，所以在修理电动机时常用改变并联支路数来改变电动机的电压。

当外施电压不变时，改变电动机并联路支数时，要同时改变绕组匝数和其截面积，以保持绕组每匝电压不变和每根导线的电流密度不变。

当并联支路数增加一倍时，线圈匝数也要增加一倍，而线圈导线截面积要减少50%，只有这样才能保证绕组每匝电压不变，每根导线电流密度不变，从而维持电动机性能基本不变。

例：JZ2-52-8 型，30kW 三相异步电动机，380V，额定电流 71.6A，已知 2丫接法，导线 3-ϕ1.45，双叠绕组，72 槽，每槽10匝，问改为 4丫接法时，每线圈匝数和导线线规如何确定？

解：已知双层叠绕，所以线圈数目等于槽数，每相线圈数目为$\frac{72}{3}=24$（个），现在是 2丫接法，所以每个并联支路的线圈数为$\frac{24}{2}=12$(个)，每个线圈 5 匝，每条并联支路的匝数为$12\times 5=60$（匝）。

导线截面积 $S=3\times\frac{\pi\times 1.45^2}{4}=4.95\ (\mathrm{mm^2})$

当改为 4丫接法时，每个并联支路的绕组匝数仍为60匝不变，但因每个并联支路线圈数为$\frac{24}{4}=6$（个），因此每个线圈匝数必需改为10匝，才能保证每条支路 $6\times 10=60$（匝）不变。

线圈导线截面积要减少50%，即$\frac{4.95}{2}=2.48(mm^2)$导线，即线圈用 2 -$\phi$1.25mm 导线绕制。

原每个支路电流为$\frac{71.6}{2}=35.8$（A），现在 4 路，所以每个支路电流为$\frac{71.6}{4}=17.9$（A），但线路上总电流仍是额定电流71.6A，因此这种改变并联支路数后，电动机性能基本保持不变。

改并联支路数时要考虑以下几点。

（1）并联支路数与电动机极数有关，见表1-5。

表1-5 每相绕组可能的并联支路数 a 与极数2p的关系

电动机极数2p	2	4	6	8
并联支路数a	1、2	1、2、4	1、2、3、6	1、2、4、8

电动机极数2p	10	12	14	16
并联支路数a	1、2、5、10	1、2、3、6、12	1、7、14	1、2、4、8、10

对于双层绕组，电动机最大并联支路数等于电动机的极数，即$a=2p$。如果是分数槽或单层绕组，其最大并联支路数还要受到更多的限制。详见表1-5和表1-8所示。

（2）要求各并联支路内的线圈数目相等，匝数相等，线圈在铁心内安放位置要对称。只有这样才能保证每支路绕组中感应电势大小相等、相位相同，每个支路电阻、电抗相同，从而保证各支路中流过相同的电流和各支路温升一致。

为了降低电动机的电磁振动和因气隙不均匀产生的振动，可将绕组的并联支路数 a 取最大值，对于双层绕组，取 $a=2p$，使每个极相组（或叫线圈组）构成一个并联支路。比如 8 极电动机，可选择并联支路数为 8，即上例改为 8 丫接法。为什么这样做能抑制电动机振动？理由是电动机气隙安装时虽然经检查和调整达

到均匀度的要求，但因轴承磨损、转轴弯曲、单边磁拉力等因素，使电动机实际气隙并不均匀，更何况有时安装时气隙就未调整均匀。现在假设 8 极三相电动机，有 3 × 8 =24（个）极相组分布在定子铁心圆周上，当转子下沉时，使电动机的气隙在定子圆周上半圆大，下半圆小，由于气隙不均引起气隙磁导不均，气隙磁通沿气隙圆周分布不对称，气隙圆周各点磁拉力不均，其大小近似与各点气隙磁通密度的平方成正比。因此，电动机产生噪声和振动。下半圆气隙小，磁阻小，磁通密度大，磁拉力也大，而上半圆气隙大，磁阻大，磁通密度小，所以磁拉力也小，由于上下圆周不均，电动机便产生振动。现在如果采取最大允许并联支路数，每个极相组构成一个支路分布在定子圆周上，靠近上面气隙大的极相组线圈因气隙大，所以线圈电抗小，电流大，而靠下面气隙的极相组线圈因气隙小，电抗大，电流小。电流小产生的磁通势亦小，电流大产生的磁通势亦大。下面较小气隙的极相组线圈中产生较小的磁通势与因为气隙小引起较大的磁密恰好自动调节和补偿，靠近上面气隙大的线圈组因电抗小，电流大，产生的磁通势亦大，恰好与因为气隙大引起较小的磁密相补偿，因此这种接法能够抑制电动机的振动和噪声。

当限于条件，电动机不能接成最大并联支路数时，比如上例只能接出 2 丫接法时，为了抑制电动机振动和噪声，可采取长连接的并联支路，必要时还可以将每相并联的极相组线圈之间加一平衡均压线，其作用是第一对并联的、在几何上对应的两线圈组中流过不同的电流不会影响与其串联的第二对并联的两线圈组中电流调整进行补偿磁通势的作用。

为了抑制电动机噪声和振动，尽可能不接成一路接线和短连接方式。

〔1-15〕 分数槽绕组在选择并联支路数时会受到哪些限制？

答：分数槽绕组连接时，除每个极相组内（即线圈组）所串联连接的线圈数目不同外，其连接方法与整数槽绕组相同。

检查分数槽绕组连接的正确性，是按每相内含有大小线圈组

数目应相等，对于有并联支路时，除每个并联支路内大小线圈数目应相等外，还要求每并联支路电动势的总和在数量上和相位上也必须相等，从而使各磁通势均衡。

每相有$\frac{2p}{d}$个循环，那么每相支路必须按$\frac{2p}{ad}$循环选择，这样，分数槽绕组比整数槽绕组在选择并联支路时要受很大限制。比如$2p=8$，q为整数时，可能的并联路数为1、2、4、8。对于分数槽绕组，当$d=2$时的并联路数有1、2、4；$d=4$时仅有1、2；$d=8$时，就不能并联。

另外，分数槽绕组的最大并联路数等于绕组的重复数t，如果t除以所需的并联路数等于整数$\left(\frac{t}{a}=\text{整数}\right)$，即为允许的并联路数，但一定要小于最大的可能并联路数。

例：槽数$Z=324$，48极，确定出绕组最大可能的并联路数。

解：① $q=\frac{Z}{2pm}=\frac{324}{3\times48}=2\frac{1}{4}$

② 最大可能并联路数$t=\frac{2p}{d}=\frac{48}{4}=12$

③ 绕组可能的并联路数为2、3、4、6，因为12均可被这些数除尽。

电动机修理时，常碰到的是两路并联，下面重点分析两路并联的连接方法。

（1）三相4极电动机绕组，已知$q=2\frac{1}{2}$，并联路数$a=2$。线圈组分配规律为：

2 3 2 3 2 3 2 3 2 3 2 3 2共12个线圈组，接成短连接时能保证每支路中线圈数相等，见图1-19(a)，但接成长连接时每并联支路中的线圈数目不等，一个支路包括所有大线圈组，而另一支路包括所有小线圈组，所以不能直接连接成长连接，如图1-19(b)。如果欲接成长连接时，则必须改变线圈组分配规律，即改为：

2 2 3 3 2 2 3 3 2 2 3 3，这时每个并联支路内线圈数目

是相等的如图1-19(c)。

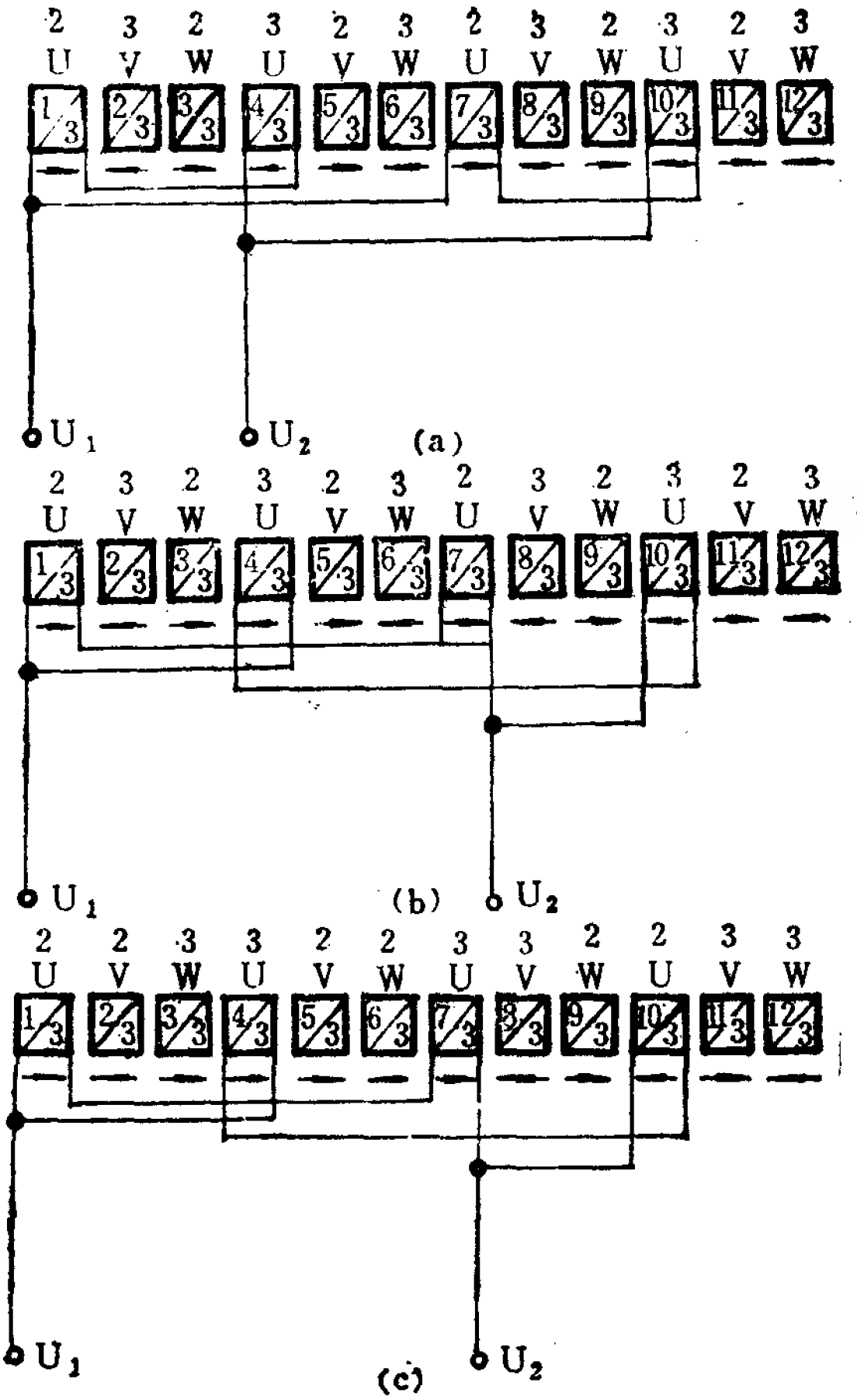


图1-19　三相4极电动机绕组接线图

（2）三相8极电动机绕组，已知 $q=1\frac{1}{2}$，$a=2$，分析连接法（共24个线圈组）。

线圈组的分配规律是1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2。接成短连接没有困难，保证每支路中线圈数相等，如图1-20(a)，但接成长连接有一定困难，因为隔一个同相

的极相组（或线圈组）串联一个极相组的结果，使某一并联支路内线圈全是小线圈，而另一并联支路全是大线圈组成，因此各支路线圈数目不等如图1-20(b)。为了采用长连接，使每支路内线圈数目相等，则要求U相绕组中每支路有线圈组为1、7、10、18，另一支路线圈组为4、13、19、22，如图1-20(c)。但这种连接方法虽然每支路线圈数相等，但不完全对称，由于线圈组之间连接线太长，增加附加铜损耗，浪费工时和材料。

如果线圈组分配改为1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2，则能克服上述缺点，如图1-20(d)。

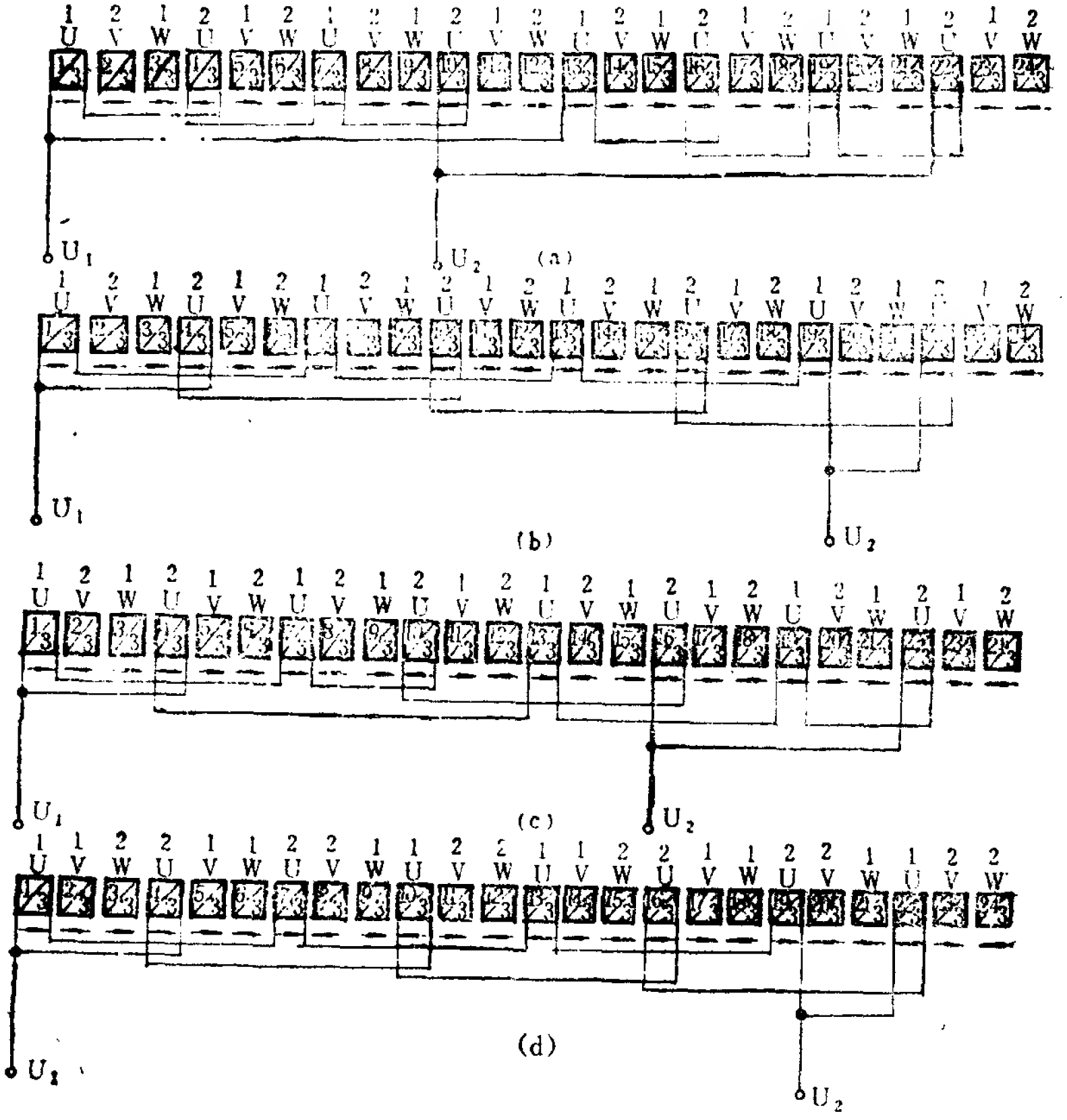


图1-20　三相8极电动机绕组接线图（为清楚只画一相）

（3）三相8极电动机绕组，已知$q=1\frac{1}{4}$，$d=4$，$a=2$，共有24个极相组。

这时线圈组的排列方式为1 1 1 2　1 1 1 2　1 1 1 2　1 1 1 2　1 1 1 2　1 1 1 2，当接成两路并联，采用短连接时，每个并联支路是由一个大线圈组和三个小线圈组所组成（图1-21）。只能接成短连接方式，不能接成长连接方式。

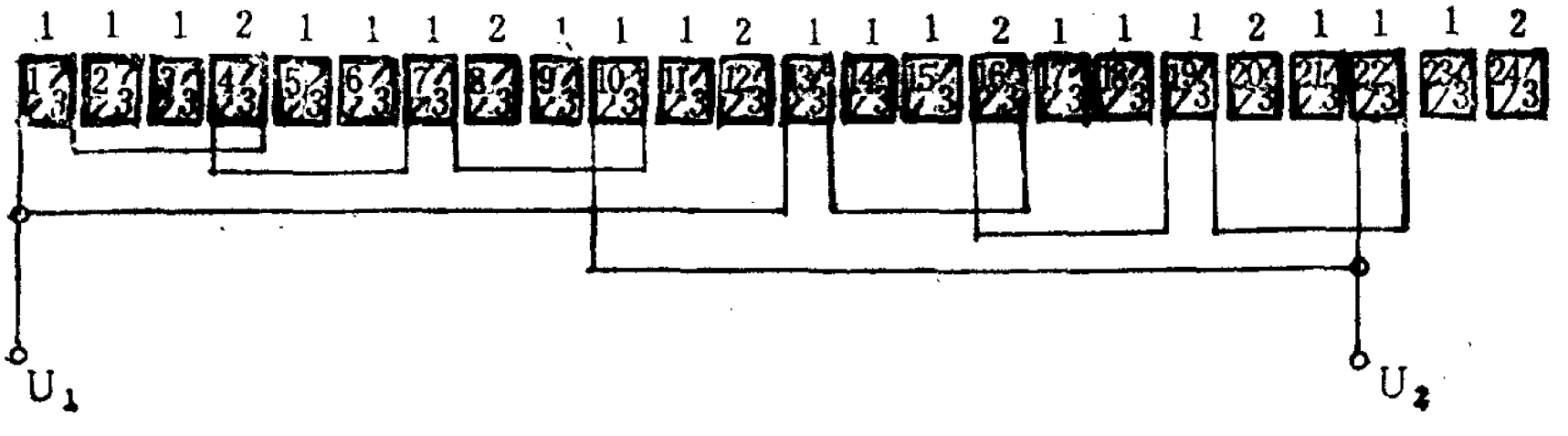


图1-21　三相8极，$q=1\frac{1}{4}$、$d=4$、$a=2$ 短连接

（4）三相10极电动机绕组，已知$a=2$，为使$\frac{2p}{ad}=\frac{10}{2d}=\frac{5}{d}$=整数，只有$d=5$才有可能，即$q=1\frac{1}{5}$、$2\frac{1}{5}\cdots\cdots 2\frac{2}{5}$等等，这时一个循环的线圈组排列规律是2 3 2 3 2，……这时只能画出短连接方式。

如果已知电动机极数$2p$和并联支路数a，为了保证$\frac{2p}{ad}$=整数，完成分数槽绕组的并联连接，可由表1-6中查出可能允许的d值。

如果已知$2p$和d值，为了使$\frac{2p}{ad}$=整数，可按表1-7查出可能的并联支路数a值。

表1-6　已知 $2p$ 和 a 时查出可能允许的 d 值

a \ $2p$	在某极数下可能的 d 值												
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
1	2 4	2	2 4	2	2 4	2 7	2、4 8、13	2	2、4 5、10	2 11	2、4 8	2 13	2、4 7、14
2	2	3	2 4	5	2、3 6	7	2、4 8	3 9	2、5 10	2 11	2、3 1、6、12	2 13	2、7 14
3	—	2	—	—	2 4	—	—	2、3 6	—	—	2、4 8	—	—
4	—	—	2	—	3	—	2 4	—	5	—	—	—	—
5	—	—	—	2	—	—	—	—	2 4	—	—	—	—
6	—	—	—	—	2	—	—	3	—	—	2 4	—	—

注：当 d 等于 3 或 3 的倍数时，为非对称分数槽绕组。

表1-7　已知 $2p$ 和 d 值查出可能的并联路数 a

$2p$ \ d	在某极数下可能的 a 值								
	2	4	5	7	8	10	11	13	14
2	1	—	—	—	—	—	—	—	—
4	1 2	1	—	—	—	—	—	—	—
6	1 3	—	—	—	—	—	—	—	—
8	1、2 4	1 2	—	—	—	—	—	—	—
10	1 5	—	1 2	—	1	1 2	—	1	—
12	1、2 3、6	1 3	—	—	—	—	—	—	—
14	1 7	—	—	1 2	—	—	—	—	—
16	1、2 4、8	1、2 4	—	—	1 2	—	—	—	—
18	1、3 9	—	—	—	—	—	—	—	—

续表

2p \ 在某极数下可能的a值	2	4	5	7	8	10	11	13	14
20	1、2 5、10	1、5	1、2 4	—	—	1 2	—	—	—
22	1、11	—	—	—	—	—	1 2	—	—
24	1、2、3 4、6、12	1、2 3、6	—	—	1、3	—	—	—	—
26	1、13	—	—	—	—	—	—	1 2	—
28	1、2 7、14	1 7	—	1、2 4	—	—	—	—	1 2

〔1-16〕 重绕线圈时，电磁线代用的意义和原则是什么？

答：线圈重绕时，有时会碰到没有原规格的导线，但被修电动机又急于投产，这时不得不考虑代用导线的问题。代用的原则是使电动机铜耗不变、性能不变。对于60年代以后的电动机产品，槽绝缘大都是E级绝缘材料，导线是高强度聚酯漆包线，在重绕代用料时，槽内绝缘厚度基本不变，槽满率也基本不变，只要保持代用导线总截面积等于原有的导线总截面积即可。但对于60年代以前的电动机产品，如按导线总截面积不变的原则去选择代用导线时，由于槽内绝缘变薄，会使槽满率大大降低，槽满率的降低虽然嵌线容易，但会因槽内导线之间因浸漆不足影响绕组散热，同时也会因导线之间粘结不牢，电动机在运行时导线在电磁力作用下发生匝间短路故障。

铜线在槽内占不到一半面积的现象很普遍，为了固定槽内导线，需特制较大截面积的竹楔，因此，槽内空间被无用的竹楔占据着。显然，这种代用是不理想的。有时还会发现用比原导线线径较细的导线规格代用，这更不好，不但因导线电阻和电流密度增加，使铜耗和电动机温升增加，同时还会使下次换线圈时误认为这是“原始数据”，继续用细导线或更细导线进行修理电动机，

结果使电动机性能越修越坏。

甚至还有的修理单位不懂导线代用的计算方法，为了等待原规格导线只好停工待料，影响生产。看来提高导线代用的基本认识，学会代用计算方法是很必要的。

初看起来．代用料似乎是被迫不得已的措施，其实导线代用还有更积极的一面。通过导线代用或更改，不但解决缺料的困难，更重要的是能改善电动机的性能，降低温升，延长电动机使用寿命，提高电动机效率，达到节能节电的效果。比如60年代以前生产的老系列电动机，重绕时使槽内绝缘变薄，使绝缘面积减小，加粗导线线径，会使铜耗降低，电动机效率提高。经计算，加粗导线后，电动机效率可提高1.5%～4%，因此，可使连续运转的电动机（每年连续运转在3000 h 及以上）每年节电费用达数百至数千元。

在电动机修理单位，导线代用的方式可归纳为以下三种。

① 对于60年代以后的产品，因大部分是E级绝缘，在代用导线时，槽内绝缘不会发生较大变化，所以只要保持代用前后的裸导线总截面积不变即可。

② 对于60年代以前的老产品，在重绕计算时，要考虑到由于导线绝缘和槽绝缘均有变薄的可能，因此，有条件加粗导线、降低铜耗，所以应充分利用旧槽空间，根据选用的槽满率，重新计算新的导线规格。因此，这类电动机提高效率、节能节电的可能性非常大，挖潜的效益也大。

③ 改变导线材质进行导线的代用。比如以铜代铝，或以铝代铜等等。

（1）导线代用的基本原则：

① 保持气隙磁密基本不变（但提高电动机绝缘等级时，可适当提高 5 %～10%左右）。

② 电流密度不要大于原来的数值（截面积的减少不可超过原截面积的 2 %～3%）。

③ 如果原槽满率正确时，要保持槽满率基本不变。

④ 绝缘水平等级只能提高不能降低。

（2）在修理过程中，常用的改进措施：

① 改变原来的较低的槽满率，使槽满率合理化，从而可增大导线截面积，降低电密，解决电动机温升过高或降低电机温升问题；或者适当加大些匝数和线径，解决电动机铁心老化、改善电动机性能等等。

② 提高电动机绝缘等级，如E级改B级或F、H级等。

③ 改进绕组型式，从而变更导线线径。

〔1-17〕 常用电磁线代用计算方法有哪些？代用时要考虑哪些问题？

答：常用的圆导线代用计算有以下四种方法。

① 改变电动机线圈的并绕根数N，保持每相并联支路数a不变和三相绕组接线方式不变。

② 改变电动机每相绕组的并联支路数a，保持电动机线圈的并绕根数N和三相绕组接线方式不变。

③ 改变电动机三相绕组的接线方式，如△改丫接等等，保持N和a不变。

④ 同时改变几个参数，如N、a同时改变，但不改变三相绕组的接线方式；或者改变三相绕组的接线方式的同时，还改变N或a，等等。

（1）改变电动机绕组导线并绕根数N和每相并联路数a。电流密度J可写成：

$$J=\frac{I}{aNS}$$

式中 S——一根裸导线截面积（mm^2）

N——并绕根数

a——并联支路数

I——相电流（A）

在改变N和a时，应保持I和J不变（因电动机容量不变，温升不变），于是有：

$$a'N'S' = aNS$$

当保持 $a = a'$ 不变，只改变N时，由上式得出

$$S' = \frac{N}{N'}S \text{ 或} d' = \sqrt{\frac{N}{N'}}d$$

说明代用导线截面积 S' 与并绕根数N'成反比；或者代用导线直径 d' 与并绕根数 N' 的平方根成反比。

当保持$N' = N$不变，只改变 a 时，由上式

$$S' = \frac{a}{a'}S \text{ 或} d' = \sqrt{\frac{a}{a'}}d$$

说明代用导线截面积 S' 与并联支路数 a' 成反比；或者代用导线直径 d' 与并联路数a'的平方根成反比。

① 当采用多根导线代替单根导线时，要考虑：

（a）槽满率问题：因导线根数增多，绝缘占槽面积的比率增加，所以槽满率要增大，必要时要重新校核一次槽满率。对于高强度聚酯漆包圆铜线（QZ 或 QQ 型），槽满率应控制在 75% 左右；铝导线或单纱漆包圆铜线，可控制在75%～80%之间；对于油性漆包线（Q 型）或氧化膜铝线，可控制在65%～70%之间。

如果事先未计算槽满率，嵌线时发觉槽满率太高，为了解决嵌线困难而减薄槽绝缘或削薄竹楔等办法，都是不恰当的。

（b）并绕导线根数不宜太多，因为增加绕线圈和嵌线工时，同时焊接麻烦，质量不易保证。

（c）并绕的各导线线径大小不宜相差悬殊，以免小截面导线过热或绕线时在相同拉力下，小截面导线变形太大，破坏漆膜。

② 当采用单根导线代替多根导线时，要考虑：

（a）电动机槽口宽度是否允许嵌入增粗的导线线径（锉大槽口是不允许的）。

（b）考虑增粗导线后，施工上有困难，槽满率受影响。一般圆导线不宜大于 ϕ1.62mm，否则绕制和嵌线均产生困难。

例：JO73-8，14kW三相异步电动机，已知并联路数 $a = 2$，并绕根数 $N = 2$，导线线径 ϕ1.45（QZ 型）。要求改变N和 a，

计算代用料。

解：① 当改变N分别为3、4、5时，则新的导线直径有（a不变）：

$$d'=\sqrt{\frac{N}{N'}}d=\sqrt{\frac{2}{3}}\times1.45=1.18,\ 查标准为\phi1.16mm$$

$$d'=\sqrt{\frac{N}{N'}}d=\sqrt{\frac{2}{4}}\times1.45=1.03,\ 查标准为\phi1.04mm$$

$$d'=\sqrt{\frac{N}{N'}}d=\sqrt{\frac{2}{5}}\times1.45=0.917,查标准为\phi0.90mm$$

② 当$N=2$不变，改变a时，令a有1、4、8，则代用导线规格计算：

$$d'=\sqrt{\frac{a}{a'}}d=\sqrt{\frac{2}{1}}\times1.45=2.05\quad 选\ \phi2.02mm$$

$$d'=\sqrt{\frac{a}{a'}}d=\sqrt{\frac{2}{4}}\times1.45=1.025\quad 选\ \phi1.0mm$$

$$d'=\sqrt{\frac{a}{a'}}d=\sqrt{\frac{2}{8}}\times1.45=0.725\quad 选\ \phi0.72mm$$

在改变a时，要考虑电动机极数和绕组型式的限制。电动机允许最大并联支路数按表1-8选择。

（2）变更电动机绕组的丫、△接线方式：

当丫接线改△接线时：

$$d_{\triangle}=0.76d_{Y}$$

$$W_{\triangle}=\sqrt{3}W_{Y}$$

当△接线改丫接线时：

$$d_{Y}=1.33d_{\triangle}$$

$$W_{Y}=0.58W_{\triangle}$$

式中 $d_{\triangle}$、$W_{\triangle}$——绕组△接线时的导线线径和匝数

d_{Y}、W_{Y}——绕组丫接线时的导线线径和匝数

例：JO2-72-6，22kW三相异步电动机，已知$N=2$，$a=2$，每线圈匝数14，△接线，双层绕组，导线线径$\phi1.2$（QZ

表1-8　各种绕组允许最大并联支路数

绕组型式			允许最大并联支路数a_{max}
层数	端部连接方式	绕组排列方式	
单层	同心式	60°相带整数槽	$2p$（q为偶数） p（q为奇数）
	同心链式	60°相带整数槽	$2p$（q为偶数） p（q为奇数）
	等节距元件链式	60°相带整数槽	$2p$（q为偶数） p（q为奇数）
	交叉链式	60°相带整数槽	$2p$（q为偶数） p（q为奇数）
双层	叠绕	60°相带整数槽	$2p$
		分数槽绕组	$2p/p'$（p'为分数q约净后的分母）
		散布绕组	$2p$
		△—Y 混合绕组	$2p$（q为偶数） p（q为奇数）
单双层	波绕	分数槽绕组	$2p/p'$（p'为分数q约净后的分母）
		60°相带整数槽绕组	$2p$
	同心式	60°相带整数槽绕组	$\frac{2p}{}$（一相带单层槽数为偶数） $\frac{p}{}$（一相带单层槽数为奇数）

注：表中p为极对数。

型），要求a和N保持不变条件下，只改变绕组接线方式计算代用导线。

解：当绕组由△接线改Y接线时：

$d_{\text{Y}}=1.33d_{\Delta}=1.33\times1.2=1.59$，选$\phi$1.56mm

$W_{\text{Y}}=0.58W_{\Delta}=0.58\times14=8.12$，选8匝

（3）绕组接线方式和并联支路数同时变更的导线代用。

在选用代用导线的实际过程中，往往是在改变电动机绕组接线的同时，也改变绕组的并联支路数，这时改变后的导线线径和线圈匝数，可按下面公式计算出来：

表1-9　绕组改接线后的

绕组改接后 \ 绕组改接前 $\frac{\xi_d}{\xi_w}$	一路Y接法	二路Y接法	三路Y接法	四路Y接法	五路Y接法	六路Y接法	八路Y接法	十路Y接法
一路Y接法	1.0 1.0	1.41 0.50	1.73 0.33	2.0 0.25	2.24 0.20	2.45 0.17	2.83 0.125	3.16 0.10
二路Y接法	0.71 2.0	1.0 1.0	1.22 0.67	1.41 0.50	1.58 0.40	1.73 0.33	2.0 0.25	2.24 0.20
三路Y接法	0.58 3.0	0.82 1.50	1.0 1.0	1.15 0.75	1.29 0.60	1.41 0.50	1.63 0.38	1.83 0.30
四路Y接法	0.50 4.0	0.71 2.9	0.87 1.33	1.0 1.0	1.12 0.80	1.22 0.67	1.41 0.50	1.58 0.40
五路Y接法	0.45 5.0	0.63 2.5	0.78 1.67	0.89 1.25	1.0 1.0	1.09 0.83	1.26 0.63	1.41 0.50
六路Y接法	0.41 6.0	0.58 3.0	0.71 2.0	0.82 1.50	0.91 1.20	1.0 1.0	1.15 0.75	1.29 0.60
八路Y接法	0.35 8.0	0.50 4.0	0.61 2.67	0.71 2.0	0.79 1.6	0.87 0.33	1.0 1.0	1.12 0.80
十路Y接法	0.32 10	0.45 5.0	0.58 3.3	0.63 2.5	0.71 2.0	0.78 1.67	0.89 1.25	1.0 1.0
一路△接法	0.77 1.73	1.07 0.86	1.32 0.58	1.52 0.43	1.69 0.35	1.86 0.29	2.15 0.22	2.41 0.17
二路△接法	0.54 3.46	0.76 1.73	0.93 1.15	1.07 0.87	1.20 0.69	1.32 0.58	1.52 0.43	1.70 0.35
三路△接法	0.44 5.19	0.62 2.59	0.76 1.73	0.88 1.30	0.98 1.04	1.07 0.87	1.24 0.65	1.40 0.52
四路△接法	0.38 6.92	0.54 3.46	0.66 2.31	0.76 1.73	0.85 1.38	0.93 1.15	1.07 0.86	1.21 0.69
五路△接法	0.34 8.65	0.48 4.33	0.59 2.88	0.68 2.16	0.76 1.73	0.83 1.44	0.96 1.18	1.07 0.86
六路△接法	0.31 10.4	0.48 5.19	0.59 3.46	0.68 2.60	0.76 2.08	0.83 1.73	0.96 1.30	1.07 1.04
八路△接法	0.27 1.38	0.39 6.88	0.47 4.64	0.54 3.44	0.60 2.80	0.66 2.32	0.76 1.73	0.85 1.38
十路△接法	0.24 1.73	0.34 8.6	0.42 5.8	0.43 4.3	0.54 3.5	0.59 2.9	0.68 2.16	0.76 1.73

线径系数ξ_d和绕组系数ξ_w

一路	二路	三路	四路	五路	六路	八路	十路
△	△	△	△	△	△	△	△
接法	接法	接法	接法	接法	接法	接法	接法
1.32	1.86	2.28	2.63	2.92	3.23	3.78	4.16
0.58	0.29	0.19	0.15	0.12	0.10	0.07	0.06
0.93	1.32	1.61	1.86	2.06	2.28	2.64	2.94
1.16	0.58	0.39	0.29	0.23	0.19	0.15	0.11
0.76	1.08	1.32	1.52	1.70	1.86	2.15	2.14
1.73	0.87	0.58	0.43	0.35	0.29	0.22	0.17
0.66	0.93	1.14	1.32	1.47	1.61	1.86	2.08
2.32	1.16	0.77	0.58	0.46	0.39	0.29	0.23
0.59	0.83	1.02	1.18	1.32	1.44	1.67	1.86
2.89	1.44	0.96	0.72	0.58	0.48	0.36	0.29
0.54	0.76	0.93	1.08	1.20	1.32	1.52	1.70
3.46	1.73	1.15	0.87	0.69	0.58	0.43	0.35
0.47	0.66	0.81	0.93	1.04	1.14	1.32	1.47
4.6	2.72	1.52	1.20	0.95	0.79	0.58	0.46
0.42	0.59	0.72	0.83	0.93	1.02	1.18	1.32
5.8	2.9	1.9	1.5	1.20	1.0	0.72	0.58
1.0	1.41	1.73	2.0	2.24	2.45	2.83	3.16
1.0	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
0.71	1.0	1.22	1.41	1.58	1.73	2.0	2.24
2.0	1.0	0.67	0.50	0.40	0.33	0.25	0.20
0.58	0.82	1.0	1.15	1.29	1.41	1.63	1.83
3.0	1.50	1.0	0.75	0.60	0.50	0.38	0.30
0.50	0.71	0.87	1.0	1.12	1.22	1.41	1.58
4.0	2.0	1.33	1.0	0.80	0.67	0.50	0.40
0.45	0.63	0.78	0.90	1.0	1.10	1.27	1.41
5.0	2.5	1.67	1.25	1.0	0.83	0.63	0.50
0.41	0.58	0.71	0.82	0.91	1.0	1.15	1.29
6	3	2	1.50	1.2	1.0	0.75	0.60
0.35	0.50	0.61	0.71	0.79	0.87	1.0	1.12
8	4	2.67	2	1.6	1.33	1.0	0.8
0.32	0.45	0.58	0.63	0.71	0.78	0.90	1.0
10	5	3.33	2.5	2.0	1.67	1.25	1.0

$$d_{新}=\xi_d d_{旧}$$

$$W_{新}=\xi_W W_{旧}$$

式中 $d_{旧}$、$W_{旧}$——分别表示电动机原来导线的线径和线圈匝数

ξ_d、ξ_W——分别表示电动机导线线径系数和线圈匝数系数。这些系数可直接由表1-9中查取。分子表示 ξ_d、分母表示 ξ_W。

例：JO2-72-6，22kW三相异步电动机，已知$N=2$，$a=2$，每线圈14匝，△接法，导线直径 ϕ1.2（QZ型），双层绕组，要求改变绕组接线（即由△接法改丫接法），同时也改变并联路数 a。

解：当 $a=1$ 时

$d_{Y1}=\xi_{d1}d_{\Delta}=1.86\times1.2=2.23$（取 ϕ2.10）

$W_{Y1}=\xi_{W1}W_{\Delta}=0.29\times14=4.06$（取 4 匝）

当 $a=3$ 时

$d_{Y3}=\xi_{d3}d_{\Delta}=1.075\times1.2=1.29$（取 ϕ1.29）

$W_{Y3}=\xi_{W3}W_{\Delta}=0.87\times14=12.18$（取12匝）

当 $a=6$ 时

$d_{Y6}=\xi_{d6}d_{\Delta}=0.761\times1.2=0.913$（取 ϕ0.9）

$W_{Y6}=\xi_{W6}W_{\Delta}=1.73\times14=24.2$（取24匝）

〔1-18〕 怎样用查表法直接查出代用导线的规格？

答：表1-10给出两种导线代用表，包括：

① 三相绕组的接线方式不变，只改变线圈的并绕根数，用两根d_1和d_2代替原导线的线径d。

② 并绕根数N不变，改变三相绕组的接线方式，如△接法改丫接法（d_3、d_4代替原导线d）；或丫接法改△接法（d_5、d_6代替原导线 d）。

（1）保持绕组接线方式不变，仅改变并绕根数时，可根据原线径d按表 1-10 查出 d_1 和 d_2 的代用料。设某电动机导线 $d=1.12$，则代用的两根导线直径d_1和d_2有以下几组。

① ϕ0.49和ϕ1.0；

② ϕ0.51和ϕ1.0；

③ ϕ0.57和ϕ0.96；

④ ϕ0.59和ϕ0.96；

⑤ ϕ0.62和ϕ0.93；

⑥ ϕ0.67和ϕ0.90；

⑦ ϕ0.72和ϕ0.86；

⑧ ϕ0.74和ϕ0.83；

⑨ ϕ0.77和ϕ0.80；

⑩ ϕ0.80和ϕ0.80。

（2）如欲改变绕组丫、△接线方式，求代用料时，可查表1-10中d_3、d_4（由△接法改丫接法）和d_5、d_6（由丫接法改△接法）。

表1-10 圆导线代用表 (mm)

原导线直径d	绕组连接方式不变时，代用的导线直径d_1、d_2	绕组连接由△接法改丫接法时，代用导线直径d_3、d_4	绕组连接由丫接法改△接法时，代用导线直径d_5、d_6
0.47	—	0.62	—
0.49	—	0.64	—
0.51	—	0.67	—
0.53	—	0.69	—
0.55	—	0.72	—
0.57	—	0.74	—
0.59	—	0.77	—
0.62	—	0.44；0.69	0.47
0.64	—	0.44；0.72	0.49
	—	0.47；0.69	—
	—	0.49；0.69	—
0.67	—	0.46；0.77	0.51
	—	0.49；0.74	—
	—	0.49；0.74	—
	—	0.51；0.72	—
	—	0.55；0.69	—
0.72	—	0.44；0.83	0.55
	—	0.47；0.83	—
	—	0.49；0.80	—
	—	0.51；0.80	—
	—	0.55；0.77	—
	—	0.59；0.74	—
	—	0.62；0.72	—
	—	0.64；0.69	—

续表

原导线直径d	绕组连接方式不变时，代用的导线直径d_1、d_2	绕组连接由△接法改Y接法时，代用导线直径d_3、d_4	绕组连接由Y接法改△接法时，代用导线直径d_5、d_6
0.74	—	0.96	0.57
	—	0.44; 0.86	—
	—	0.47; 0.86	—
	—	0.49; 0.83	—
	—	0.51; 0.83	—
	—	0.55; 0.80	—
	—	0.57; 0.80	—
	—	0.59; 0.77	—
	—	0.62; 0.74	—
	—	0.64; 0.74	—
	—	0.69; 0.69	—
0.77	—	1.0	0.59
	—	0.47; 0.90	—
	—	0.53; 0.86	—
	—	0.55; 0.86	—
	—	0.57; 0.83	—
	—	0.59; 0.83	—
	—	0.62; 0.80	—
	—	0.67; 0.77	—
	—	0.69; 0.74	—
	—	0.72; 0.72	—
0.80	—	1.04	—
	—	0.44; 0.96	—
	—	0.49; 0.93	—
	—	0.51; 0.93	—
	—	0.53; 0.90	—
	—	0.55; 0.90	—
	—	0.59; 0.86	—
	—	0.62; 0.86	—
	—	0.64; 0.86	—
	—	0.67; 0.80	—
	—	0.69; 0.80	—
	—	0.72; 0.77	—
	—	0.74; 0.74	—
0.83	0.47～0.69	1.08	—
	—	0.4 ; 1.00	—
	—	0.51; 0.96	—
	—	0.53; 0.96	—
	—	0.57; 0.93	—
	—	0.59; 0.93	—
	—	0.62; 0.90	—
	—	0.67; 0.86	—
	—	0.72; 0.83	—
	—	0.74; 0.80	—
	—	0.77; 0.77	—

续表

原导线直径d	绕组连接方式不变时，代用的导线直径d_1、d_2	绕组连接由△接法改Y接法时，代用导线直径d_3、d_4	绕组连接由Y接法改△接法时，代用导线直径d_5、d_6
0.86	0.44；0.74 0.47；0.72 0.51；0.69 — — — — — — — —	1.12 0.47；1.04 0.51；1.0 0.59；0.96 0.64；0.93 0.67；0 90 0.69；0.90 0.72；0.86 0.74；0.86 0.77；0 83 0.80；0.80	— — — — — — — — — — —
0.90	0.47；0.77 0.51；0 74 0.53；0 72 0.55；0.72 0.57；0.69 — — — — — —	0.49；1.08 0.55；1.08 0 57；1 04 0.62；1 00 0.64；1.00 0.69；0.96 0.72；0 93 0.74；0.93 0.77；0.90 0.80；0.86 0 83；0 83	0.69 — — — — — — — — — —
0.93	0.47；0.89 0.51；0.77 0.53；0.77 0.55；0.74 0.57；0.72 0.62；0.69 — — — —	0.49；1.12 0.51；1 12 0.57；1.08 0.59；1.08 0.64；1.04 0.69；1.00 0.72；1.00 0.77；0.98 0.80；0.93 0.86；0.86	— — — — — — — — — —
0.96	0.44；0.86 0.47；0.83 0.49；0 83 0.53；0.80 0.57；0.77 0.62；0.74 0.64；0.72 0.67；0.69 — — — —	1.25 0.49；1.16 0.51；1.16 0.57；1.12 0.59；1.12 0.64；1.08 0.67；1.08 0.72；1.04 0.77；1.00 0.83；0.96 0.86；0.93 0.90；0.90	0.74 — — — — — — — — — — —

续表

原导线直径d	绕组连接方式不变时，代用的导线直径d_1、d_2	绕组连接由△接法改Y接法时，代用导线直径d_3、d_4	绕组连接由Y接法改△接法时，代用导线直径d_5、d_6
1.0	0.41; 0.99 0.43; 0.86 0.55; 0.83 0.57; 0.83 0.59; 0.80 0.64; 0.77 0.67; 0.74 0.69; 0.72 — —	0.53; 1.20 0.55; 1.20 0.62; 1.16 0.64; 1.16 0.69; 1.12 0.74; 1.08 0.80; 1.04 0.86; 1.00 0.90; 0.96 0.93; 0.93	0.73 — — — — — — — — —
1.04	0.47; 0.93 0.51; 0.90 0.53; 0.90 0.57; 0.86 0.59; 0.86 0.62; 0.83 0.67; 0.80 0.69; 0.77 0.72; 0.74 0.74; 0.74	0.55; 1.25 0.57; 1.25 0.64; 1.20 0.72; 1.16 0.74; 1.16 0.80; 1.12 0.83; 1.08 0.90; 1.04 0.93; 1.00 0.96; 0.96	0.80 — — — — — — — — —
1.08	0.49; 0.96 0.51; 0.96 0.55; 0.93 0.59; 0.90 0.64; 0.86 0.69; 0.83 0.72; 0.80 0.77; 0.77 — — —	0.57; 1.30 0.59; 1.30 0.67; 1.25 0.69; 1.25 0.74; 1.20 0.77; 1.20 0.83; 1.16 0.86; 1.10 0.93; 1.08 0.96; 1.04 1.00; 1.00	0.83 0.44; 0.69 — — — — — — — — —
1.12	0.49; 1.00 0.51; 1.00 0.57; 0.96 0.59; 0.96 0.62; 0.93 0.67; 0.90 0.72; 0.86 0.74; 0.83 0.77; 0.80 0.80; 0.80 —	0.57; 1.35 0.59; 1.35 0.67; 1.30 0.69; 1.30 0.77; 1.25 0.80; 1.25 0.86; 1.20 0.90; 1.16 0.96; 1.12 1.00; 1.08 1.04; 1.04	0.49; 0.69 0.86 — — — — — — — — —

续表

原导线直径d	绕组连接方式不变时，代用的导线直径d_1、d_2	绕组连接由△接法改Y接法时，代用导线直径d_3、d_4	绕组连接由Y接法改△接法时，代用导线直径d_5、d_6
1.16	0.44; 1.08 0.51; 1.04 0.53; 1.04 0.59; 1.00 0.64; 0.96 0.64; 0.93 0.72; 0.90 0.74; 0.90 0.77; 0.86 0.80; 0.83 —	0.59; 1.40 0.62; 1.40 0.69; 1.35 0.72; 1.35 0.80; 1.30 0.86; 1.25 0.93; 1.20 0.96; 1.20 1.00; 1.16 1.04; 1.12 1.08; 1.03	0.44; 0.77 0.47; 0.74 0.49; 0.74 0.51; 0.72 0.55; 0.69 — — — — — —
1.20	0.44; 1.12 0.51; 1.08 0.53; 1.08 0.59; 1.04 0.67; 1.00 0.72; 0.96 0.77; 0.93 0.80; 0.90 0.83; 0.86 — —	1.56 0.62; 1.45 0.64; 1.45 0.72; 1.40 0.80; 1.35 0.83; 1.35 0.90; 1.30 0.96; 1.25 1.04; 1.20 1.08; 1.16 1.12; 1.12	0.44; 0.80 0.49; 0.77 0.53; 0.74 0.55; 0.72 0.57; 0.72 0.59; 0.69 0.90 — — — —
1.25	0.47; 1.16 0.55; 1.12 0.57; 1.12 0.62; 1.08 0.64; 1.08 0.69; 1.04 0.74; 1.00 0.80; 0.96 0.83; 0.93 0.86; 0.90 —	0.67; 1.50 0.69; 1.50 0.77; 1.45 0.80; 1.45 0.86; 1.40 0.93; 1.35 0.96; 1.35 1.00; 1.30 1.08; 1.25 1.12; 1.20 1.16; 1.16	0.47; 0.83 0.51; 0.80 0.55; 0.77 0.59; 0.74 0.62; 0.72 — — — — — —
1.30	0.49; 1.20 0.51; 1.20 0.57; 1.16 0.59; 1.16 0.64; 1.12 0.67; 1.12 0.72; 1.08 0.74; 1.08 0.77; 1.04 0.83; 1.00 0.90; 0.93	0.69; 1.56 0.72; 1.56 0.80; 1.50 0.83; 1.50 0.90; 1.45 0.93; 1.45 1.00; 1.40 1.04; 1.35 1.12; 1.30 1.16; 1.25 1.20; 1.20	0.47; 0.86 0.49; 0.85 0.53; 0.83 0.57; 0.80 0.59; 0.80 0.62; 0.77 0.67; 0.72 — — — —

续表

原导线直径d	绕组连接方式不变时，代用的导线直径d_1、d_2	绕组连接由△接法改Y接法时，代用导线直径d_3、d_4	绕组连接由Y接法改△接法时，代用导线直径d_5、d_6
1.35	0.49; 1.25 0.51; 1.25 0.62; 1.20 0.67; 1.16 0.69; 1.16 0.74; 1.12 0.77; 1.12 0.80; 1.08 0.86; 1.04 0.90; 1.00 0.96; 0.96 — —	0.72; 1.62 0.74; 1.62 0.83; 1.56 0.86; 1.56 0.93; 1.50 0.96; 1.50 1.00; 1.45 1.04; 1.45 1.08; 1.40 1.12; 1.40 1.16; 1.35 1.20; 1.30 1.25; 1.25	0.44; 0.93 0.49; 0.90 0.55; 0.86 0.57; 0.86 0.59; 0.83 0.64; 0.80 0.67; 0.77 0.72; 0.74 0.72; 0.72 — — — —
1.40	0.49; 1.30 0.51; 1.30 0.62; 1.25 0.64; 1.25 0.72; 1.20 0.74; 1.20 0.77; 1.16 0.80; 1.16 0.83; 1.12 0.90; 1.08 0.93; 1.04 —	0.74; 1.68 0.77; 1.68 0.86; 1.62 0.90; 1.62 0.96; 1.56 1.00; 1.56 1.08; 1.50 1.12; 1.45 1.16; 1.45 1.20; 1.40 1.25; 1.35 1.30; 1.30	0.51; 0.93 0.53; 0.93 0.57; 0.90 0.62; 0.86 0.67; 0.83 0.69; 0.80 0.74; 0.77 — — — — —
1.45	0.53; 1.35 0.55; 1.35 0.62; 1.30 0.64; 1.30 0.72; 1.25 0.74; 1.25 0.80; 1.20 0.83; 1.20 0.86; 1.16 0.93; 1.12 0.96; 1.08 1.00; 1.04	0.77; 1.74 0.80; 1.74 0.90; 1.68 0.93; 1.68 1.00; 1.62 1.08; 1.56 1.12; 1.56 1.16; 1.50 1.20; 1.50 1.25; 1.45 1.30; 1.40 1.35; 1.35	0.47; 1.00 0.53; 0.96 0.55; 0.96 0.59; 0.93 0.65; 0.90 0.69; 0.86 0.72; 0.83 — — — — —
1.50	0.53; 1.40 0.55; 1.40 0.64; 1.35 0.67; 1.35 0.74; 1.30 0.77; 1.30 0.80; 1.25 0.90; 1.20 0.96; 1.16 1.00; 1.12 1.04; 1.08 —	1.95 0.80; 1.81 0.83; 1.81 0.90; 1.74 0.93; 1.74 0.96; 1.74 1.04; 1.68 1.12; 1.62 1.20; 1.56 1.30; 1.50 1.35; 1.45 1.40; 1.40	0.47; 1.04 0.53; 1.00 0.55; 1.00 0.62; 0.96 0.67; 0.93 0.69; 0.90 0.74; 0.86 0.77; 0.83 0.80; 0.80 — — —

续表

原导线直径d	绕组连接方式不变时，代用的导线直径d_1、d_2	绕组连接由△接法改Y接法时，代用导线直径d_3、d_4	绕组连接由Y接法改△接法时，代用导线直径d_5、d_6
1.56	0.67; 1.40 0.69; 1.40 0.77; 1.35 0.80; 1.35 0.86; 1.30 0.93; 1.25 1.00; 1.20 1.04; 1.16 1.08; 1.12 — — —	2.02 0.80; 1.88 0.83; 1.88 0.93; 1.81 0.96; 1.81 1.08; 1.74 1.16; 1.68 1.20; 1.68 1.25; 1.62 1.35; 1.56 1.40; 1.50 1.45; 1.45	0.47; 1.08 0.49; 1.08 0.55; 1.04 0.59; 1.04 0.62; 1.00 0.64; 1.00 0.69; 0.96 0.74; 0.93 0.77; 0.90 0.83; 0.83 — —
1.62	0.72; 1.45 0.74; 1.45 0.80; 1.40 0.83; 1.40 0.90; 1.35 0.96; 1.30 1.04; 1.25 1.08; 1.20 1.12; 1.16	2.10 0.82; 1.95 0.85; 1.95 1.00; 1.88 1.12; 1.81 1.25; 1.74 1.30; 1.68 1.40; 1.62 1.50; 1.50	0.51; 1.12 0.52; 1.12 0.59; 1.08 0.67; 1.04 0.72; 1.00 0.77; 0.96 0.80; 0.93 — —
1.68	0.74; 1.50 0.77; 1.50 0.83; 1.45 0.86; 1.45 0.93; 1.40 1.00; 1.35 1.08; 1.30 1.12; 1.25 1.16; 1.20 — —	0.86; 2.02 0.90; 2.02 0.94; 1.95 0.98; 1.95 1.16; 1.88 1.25; 1.81 1.30; 1.81 1.35; 1.74 1.45; 1.68 1.50; 1.62 1.56; 1.56	0.44; 1.20 0.53; 1.16 0.55; 1.16 0.62; 1.12 0.69; 1.08 0.74; 1.04 0.80; 1.00 0.83; 0.96 0.90; 0.90 — —
1.74	0.77; 1.56 0.80; 1.56 0.86; 1.50 0.90; 1.50 0.96; 1.45 1.04; 1.40 1.08; 1.35 1.12; 1.35 1.16; 1.30 1.25; 1.20	2.26 0.90; 2.10 0.93; 2.10 1.08; 2.02 1.20; 1.95 1.30; 1.88 1.40; 1.81 1.50; 1.74 1.62; 1.62 —	0.55; 1.20 0.57; 1.20 0.62; 1.16 0.64; 1.16 0.69; 1.12 0.72 1.13 0.77 1.08 0.83; 1.04 0.86; 1.00 0.90; 0.96

续表

原导线直径d	绕组连接方式不变时，代用的导线直径d_1、d_2	绕组连接由△接法改Y接法时，代用导线直径d_3、d_4	绕组连接由Y接法改△接法时，代用导线直径d_5、d_6
1.81	0.90；1.56 0.93；1.56 1.00；1.50 1.08；1.45 1.16；1.40 1.20；1.35 1.25；1.30	1.40；1.95 1.45；1.88 1.56；1.81 1.62；1.74 1.68；1.68 — —	0.69；1.20 0.72；1.16 0.74；1.16 0.80；1.12 0.86；1.08 0.90；1.04 0.93；1.00
1.88	0.83；1.68 0.86；1.68 0.93；1.62 0.96；1.62 1.04；1.56 1.12；1.50 1.16；1.50 1.20；1.45 1.25；1.40 1.30；1.35	— — — — — — — — — —	0.57；1.30 0.59；1.30 0.67；1.25 0.69；1.25 0.77；1.20 0.83；1.16 0.90；1.12 0.93；1.08 — —

例：原电动机为△接，导线直径为ϕ1.45，求改Y接法时代用导线（其余不变）。

解：查表1-10得出，对应原导线直径ϕ1.45，由△接法改Y接法时代用导线有以下12组。

① ϕ0.77和ϕ1.74；

② ϕ0.80和ϕ1.74；

③ ϕ0.90和ϕ1.68；

④ ϕ0.93和ϕ1.68；

⑤ ϕ1.00和ϕ1.62；

⑥ ϕ1.08和ϕ1.56；

⑦ ϕ1.12和ϕ1.56；

⑧ ϕ1.16和ϕ1.50；

⑨ ϕ1.20和ϕ1.50；

⑩ ϕ1.25和ϕ1.45；

⑪ ϕ1.30和ϕ1.40；

⑫ ϕ1.35和ϕ1.35。

（3）如果用数根相同直径的导线代用一根导线的计算公式：当用两根直径相同的导线代用时，即$N=2$，则需线径$d'=0.707d$。

当用三根代用时，即$N=3$，则：

$$d'=0.58d$$

当用四根代用时，即$N=4$，则：

$$d'=0.50d$$

在各种代用导线方案中，要优先选择两根代用导线线径相近的，最好是两根线径相同的，这对于绕线时各导线受到的拉力可均匀，每根导线直流电阻相接近，使各代用导线中电流相同或接近。

〔1-19〕 常用非磁性槽楔有哪些种类？为什么推广引拔槽楔？

答：当前低压电动机修理时，常用竹楔，由于竹楔内含有纤维素和木质素，竹浆内又含有糖类、脂肪类、水分等，所以防潮性、耐热性、防霉性、耐电压性能均较差，因此竹楔一直使用在A级和E级绝缘电动机上。虽然修理工艺要求竹楔在使用前应经变压器油浸煮处理，但许多修理单位并未能认真执行，所以修理后的电动机在运行不久便发生竹楔收缩、变形、串动、凸起现象、甚至造成槽内线圈经过受潮的竹楔产生接地故障。

近年来研究出树脂化竹楔，就是将竹楔放入一种溶剂中加热浸泡，排除竹浆和水分，形成多孔化的组织，然后烘干，经过烘干的竹楔再浸入树脂中，经烘干后便成为树脂化竹楔。这种树脂化竹楔比油煮竹楔质量高，含水率从72%降为7%，绝缘电阻从$10^9\Omega$上升到$3.5\times10^{11}\Omega$，温度指标从125℃上升到130℃，可应用在B级小型电动机上。但它毕竟是有机材料，所以在防霉、防潮、防老化方面还有差距。

MDB复合槽楔，也叫“软槽楔”，由于这种槽楔厚度薄，在电动机增容时常用到。比如对于5号机座以下的电动机，MDB槽楔厚度可选范围是0.5～0.6mm；对于6～9号机座电动机，

可选用0.6～0.8mm厚的槽楔。虽然俗称软槽楔，实际并不软，因为这种槽楔经模压制成，具有一定刚度和韧性，不必担心插入槽楔时的困难。

层压板槽楔(一般用3240环氧酚醛层压板)修理单位是用整张的层压板剪切成条料。然后经刨床刨出槽楔形状。缺点是加工工时多、有废料，所以成本高，另外由于玻璃纤维粉末飞扬对环境有污染，槽楔边角和毛刺割伤嵌线操作者的皮肤。当然，这种槽楔最大缺点是受热变形和热老化收缩，电动机运行不久就会发生从铁心槽内翘起、串出等故障。

如果选用引拔槽楔就可避免上述缺点。其特点是价格便宜，比采用3240层压板槽楔在成本上能节省30%。

引拔槽楔是用无碱无捻玻璃纤维纱浸入环氧树脂连续定型加热固化而成，全名叫改性环氧树脂玻璃纤维引拔成型槽楔。有B级、F级两种，作为B级引拔槽楔公差按GB1804-79中的JS-14三级精度，如表1-11所示。

表1-11 F、B级聚酯引拔槽楔精度要求 (mm)

槽楔宽度	极限偏差	槽楔厚度	极限偏差
2～3(不含3，下同)	±0.125	2～3	±0.125
3～6	±0.125	3～6	±0.125
6～10	±0.180	6～10	±0.180
10～18	±0.215		
18～30	±0.260		

质量要求：

（1）槽楔表面无裸露纤维气泡、杂质、表面树脂层允许有轻微的积胶、斑痕和裂纹。

（2）应能承受锯、剪、切等机械加工。

（3）其物理、机械、介电性能应符合表1-12规定。

作为F级环氧引拔槽楔的公差应符合GB1804-79中的JS-14，

三级精度要求见表1-12。

表1-12　引拔槽楔的物理，机械、介电性能指标

序　号	指　标　名　称	指　标	实　测
1	密度(g/cm³)	≥1.8	1.86
2	吸水性(%)	≤1.02	0.82
3	抗弯强度(MPa)	≥300	673
4	表面耐电压1min(V)	≥12	合格
5	电极距离(30mm)(kV)		
6	温度指标(℃)		149

F级环氧引拔槽楔的质量要求同B级。这种槽楔不但价格低廉，还具有良好的机械强度和电气绝缘性能，同时操作方便，不断裂、不起层、槽楔两端头压力很紧，不翘头，所以无松动现象。

〔1-20〕 MDB复合槽楔有哪些优点？其尺寸如何选择？

答：

（1）MDB复合槽楔的优点：

① 由于复合槽楔厚度比竹楔薄许多(一般竹楔厚度3 mm～4 mm)，所以能降低槽满率，给电动机挖潜改装创造了有利条件；

② MDB槽楔是采用玻璃布和聚酯纤维纸经上胶干燥后间隔叠料，按一定厚度配制，两面覆上聚酯薄膜经热压而成。因此，槽楔刚度好，使用方便，改善了嵌线工艺。

③ MDB槽楔绝缘等级高，可以制造B级和F级的绝缘等级，而竹楔只能用于E级电动机。

④ 成本比3240层压板低30％左右。

（2）MDB槽楔尺寸选择方法。MDB槽楔尺寸选择正确与否，对嵌线工艺影响较大。当槽楔选大时，槽楔入槽时发涩，操作效率低；槽楔选小时，槽楔经浸烘后易凸出槽口。因此，选择原则

如下。

① 见图 1-22 所示，a_1 应比 b_2 小 1 ～ 2 mm。这个间隙将被槽绝缘占去 0.5mm～0.7 mm，若间隙过小，槽楔入槽就比较紧。

② a_1比 b_1 至少大 1 mm 以上，否则浸烘后槽楔容易凸出槽口。

③ a_2尺寸最短也不得小于 4 mm，因为太小时，a_2盖不住槽绝缘纸。

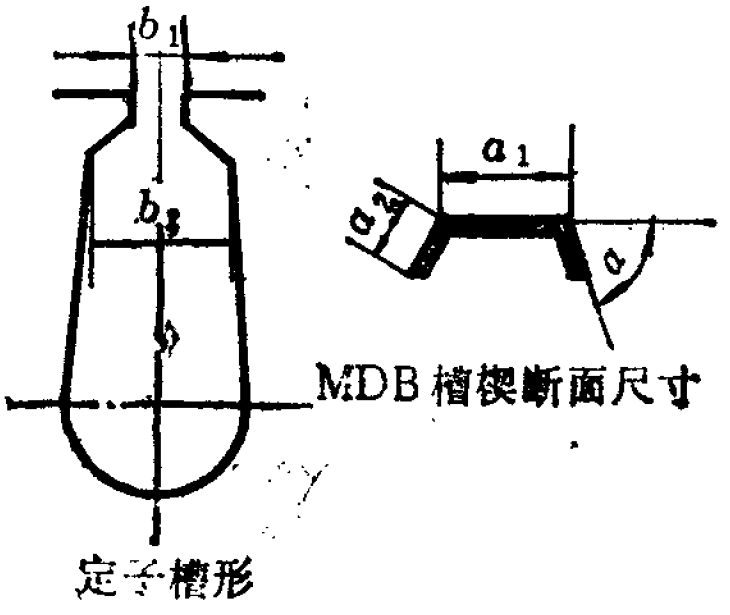


图1-22 MDB复合槽楔与槽形配合尺寸

一般电动机中心高度在160mm以下时，a_2选 4 mm～4.5mm；中心高度在160mm以上时，a_2选为 5 mm～7 mm。

MDB复合槽楔应存放在不超过40℃的干燥、清洁的房间内不得靠近火源，贮存期为一年；如超过一年，经检查槽楔弹开的角度不大时，仍能继续使用。

〔1-21〕 采用磁性槽楔或磁性槽泥改造电动机有哪些好处？如何计算节电效果？

答：当电动机改用磁性槽楔或磁性槽泥代替普通绝缘槽楔时，能使电动机气隙磁场分布趋于均匀，减少气隙有效长度，因此降低了励磁功率，使输入功率和空载电流降低。又由于磁楔或磁泥降低了电动机铁心表面损耗和脉振损耗，使铁心杂耗降低，电动机总损耗降低，所以电动机温升降低，效率提高，同时伴随电动机噪声和振动也都相应降低，从而延长电动机使用寿命，并保证电动机安全运行。

另外，对于国家规定的淘汰电动机，由于高能耗，不准使用和生产，如J2、JO2等系列电动机，还可以通过采用磁楔和磁泥改造后达到允许延缓淘汰的目的，从而节省企业购买新电动机所付出的大量资金。

当前国内磁性槽泥规格有 CC-1、CC-2、CC-3 三种，涂抹磁泥厚度与槽形有关，见表1-13示。目前有的生产磁泥单位又搞出耐高温的CC-4 材料，尚未鉴定。

表1-13　磁性槽泥厚度与槽形关系　　(mm)

磁泥型号	半闭口槽(小型)	半开口槽(中型)	开口槽(大型)
CC-1	1.5～3.0	3.0～4.0	—
CC-2	1.5～2.0	2.0～3.5	3.5～6.0
CC-3	—	2.0～2.5	3.0～5.5

（1）电动机改造后验收标准：

① 改造试验数据齐全，并将全部试验数据填写在规定的记录表内，表1-14至表1-17，并存档备查。

② 电动机改造后的额定负载时的效率提高值$\Delta\eta_N$应符合下面规定。

半闭口槽　　$\Delta\eta_N \geqslant 0.42\%$

半开口槽　　$\Delta\eta_N \geqslant 0.6\%$

开口槽　　$\Delta\eta_N \geqslant 1.0\%$

电动机空载输入功率下降率$\Delta P_0 \geqslant 10\%$

（2）根据测试结果计算节电效果：

① 空载电流下降率ΔI_0：

$$\Delta I_0 = \frac{I_0 - I'_0}{I_0} \times 100\%$$

式中　I_0、I'_0——电动机改造前后三相空载线电流平均值（试验电压应折算到同一电压值）

② 空载输入有功功率下降率ΔP_0：

$$\Delta P_0 = \frac{P_0 - P'_0}{P_0} \times 100\%$$

式中　P_0、P'_0——电动机改造前后空载输入功率(试验电压应折算到同一电压值)

表1-14　电动机空载试验记录表

改造前后	接线方式	电压(V)			电流(A)				输入功率(W)			定子电阻(Ω)			铁耗(W)
		U_{UV}	U_{VW}	U_{WU}	I_{0U}	I_{0V}	I_{0W}	I_0	P_1	P_2	P_0	R_U	R_V	R_W	P_{Fe}
改造前	△														
	Y														
改造后	△														
	Y														

注：①U_0——三相线电压平均值：

$$U_0 = \frac{U_{VU} + U_{VW} + U_{WV}}{3} C_V \quad (V)$$

C_V——仪表倍率，$C_V = UK_V/m_V$

式中　U——电压表满量程

K_V——电压互感器电压比

m_V——表面满刻度

②I_0——三相空载线电流平均值：

$$I_0 = \frac{I_{0U} + I_{0V} + I_{0W}}{3} C_i \quad (A)$$

C_i——电流表倍率　$C_i = IK_i/m_i$

式中　I——电流表满量程

K_i——电流互感器电流比

m_i——表面满刻度

③P_0——空载输入功率：

$$P_0 = (P_1 - P_2)C_p \quad (W)$$

$$C_p = UI\cos\phi K_V K_i/m_p$$

式中　V、I——功率表的电压、电流满量程

m_p——表面满刻度

$\cos\phi$——功率表的功率因数标定值

③　额定功率时效率提高值$\Delta\eta_N$：

$$\Delta\eta_N = \frac{P_{Fe} - P'_{Fe}}{P_{Fe}} \times 100\%$$

式中　P_{Fe}、P'_{Fe}——电动机改造前后铁耗(W)

④　年节电率ΔA：

$$\Delta A = \frac{P_{Fe} - P'_{Fe}}{P_1} \times 100\%$$

表1-15　电动机节能技术改造登记表

企业名称

设备名称				设备编号			
电动机型号		容　　量	kW	接线方式		电动机效率	%
定子电压	V	转子电压	V	定子电流	A	转子电流	A
定子槽形		槽口宽度	mm	磁泥型号		磁泥厚度	mm
电动机编号		出厂日期		制 造 厂		绝缘等级	

表1-16　绝缘电阻测试记录（摇表电压V）　　（MΩ）

	总对地	U对地	V对地	W对地	U对VW	V对WU	W对UV
改 造 前							
抹磁泥后							
电动机组装后							

表1-17　电动机改造效果

空载电流下降率ΔI_0			空载输入功率下降率ΔP_0		
电动机额定功率时效率提高值ΔP_N			电动机改造后的节电率ΔA		
电动机改造后一年节电量（按2500h计算）			验收意见		
改造单位		负责人		改造日期	
检测单位		负责人		检测日期	
验收单位		负责人		验收日期	

式中　P_1——电动机日平均输入功率(W)

⑤　电动机改造后一年节电量(A)

$$A=(P_{Fe}-P'_{Fe})T$$

式中　T——电动机实际年运行小时(h)

（3）计算示例：

例 1：有一台 JO2-82-4，40kW三相异步电动机，已知额定电压$U_N=380\,V$，额定电流$I_N=73.6A$，额定效率$\eta_N=91\%$，额定功率因数$\cos\phi_N=0.897$。做空载试验时，测出空载输入功率平均值$P_0=2.8kW$，空载电流平均值$I_0=23.3A$，铁耗$P_{Fe}=0.987$ kW。采用磁泥改造电动机后，测出各参数分别为$P'_0=2.1kW$，$I'_0=21.6A$，$P'_{Fe}=0.81\,kW$，试计算空载电流下降率ΔI_0？空载输入功率下降率ΔP_0？额定功率时效率提高值$\Delta\eta_N$？电动机改造后的节电率ΔA？电动机改造后年节电量A？按$\Delta\eta_N$和ΔP_0值判断此台电动机改造后是否允许暂缓淘汰？

解：按上面介绍的公式计算如下。

$$(1)\Delta I_0=\frac{I_0-I'_0}{I_0}\times 100\%=\frac{23.3-21.6}{23.3}\times 100\%=7.29\%$$

$$(2)\Delta P_0=\frac{P_0-P'_0}{P_0}\times 100\%=\frac{2.8-2.1}{2.8}\times 100\%=25\%$$

$$(3)\Delta\eta_N=\frac{P_{Fe}-P'_{Fe}}{P_N}\times 100\%=\frac{0.987-0.81}{40}\times 100\%$$

$$=0.443\%$$

$$(4)\Delta A=\frac{P_{Fe}-P'_{Fe}}{P_1}\times 100\%=\frac{0.987-0.81}{38}\times 100\%$$

$$=0.466\%$$

式中　P_1——电动机日平均输入功率，取38kW

$$(5)A=(P_{Fe}-P'_{Fe})\,T=(0.987-0.81)\times 7000$$

$$=1239\ (kW\cdot h)$$

式中　T——电动机实际年运行为 7000 h

(6)该电动机为半闭口槽，按计算出的$\Delta\eta_N\geqslant 0.42\%$规定值和$\Delta P_0\geqslant 10\%$要求，所以允许该电动机继续使用，暂缓淘汰。

例 2：有一台 JS-136-4 型，300kW三相异步电动机，已知$P_0=14.4kW$，$P'_0=9$ kW，$I_0=16.3$ A，$I'_0=13.1$ A，$U_N=3kV$，$I_N=69.6A$，$\eta_N=92.9\%$，$\cos\phi_N=0.894$，求这台电动机经改造后的ΔI_0、ΔP_0、$\Delta\eta_N$、ΔA、A值？并判断这台电动机改造

后是否允许暂缓淘汰?

解：已知此台电动机年平均运行 6800 h，日平均输入功率 $P_1=289$ kW，计算如下。

$$(1)\Delta I_0=\frac{16.3-13.1}{16.3}\times 100\%=19.63\%$$

$$(2)\Delta P_0=\frac{14.4-9}{14.4}\times 100\%=37.5\% \qquad >10\%$$

$$(3)\Delta\eta_N=\frac{14.4-9}{300}\times 100\%=1.8\%$$

$$(4)\Delta A=\frac{P_{Fe}-P'_{Fe}}{P_1}\times 100\%\approx\frac{P_0-P'_0}{P_1}\times 100\%$$

$$=\frac{14.4-9}{289}\times 100\%=1.87\%$$

$$(5)A=(P_{Fe}-P'_{Fe})T\approx(P_0-P'_0)T=(14.4-9)\times 6800$$

$$=36720(\text{kW}\cdot\text{h})$$

$(6)\Delta\eta_N=1.8\%>1.0\%$

按电动机型号得知是开口槽，所以可暂缓淘汰。

〔1-22〕 三相绕组的绕组系数如何计算?

答：三相绕组系数K_{dp}是由绕组分布系数K_d和绕组短距系数K_p所组成。基波绕组系数用下式表示：

$$K_{dp1}=K_{d1}K_{p1}$$

绕组除有基波绕组系数外，还有高次谐波，也要有相应的绕组系数，高次谐波绕组系数用下式表示：

$$K_{dp\nu}=K_{d\nu}K_{p\nu}$$

式中 K_{dp1}、$K_{dp\nu}$——分别表示基波和高次谐波的绕组系数

K_{d1}、$K_{d\nu}$——分别表示基波和高次谐波的分布系数

K_{p1}、$K_{p\nu}$——分别表示基波和高次谐波的短距系数

ν——高次谐波的谐波次数

（1）分布系数。如前所述，每相每极槽数q是由 q 个线圈串联组成的线圈组，分布在铁心槽内，每极相组感应的总电势是极

相组内每个线圈感应电势的几何和，而不是代数和，只有极相组是由一只线圈组成（$q=1$）时，也就是不存在分布时极相组的总感应电势才是代数和。如果$q\neq 1$，q个线圈不是分布放置在槽内，而是集中在一个大槽内，这时线圈组的总感应电势才是每个线圈感应电势的代数和，因为这时也不存在线圈分布问题，设每个线圈感应电势为E_1，q个线圈集中在一个大槽内总的感应电势为E_q，则$E_q=qE_1$，但实际上由于工艺和设计要求，线圈不可能集中在一个大槽内（如果是这样，铁心尺寸要放大，槽内线圈散热困难，磁场波形不良，电动机体积大，成本高等等），而是在铁心圆周上分布于q个槽内，所以这时q个线圈总的感应电势E'_q要小于qE_1，即$E'_q<E_q$其比值$\frac{E'_q}{E_q}<1$，称为分布系数，相当于给绕组电势打上一个折扣，这个折扣值约在0.96左右。

基波绕组分布系数计算如下。

$$K_{d1}=\frac{\sin\frac{q\alpha}{2}}{q\sin\frac{\alpha}{2}}$$

式中　q——每极每相槽数，或叫线圈组

$$q=\frac{Z_1}{2pm}$$

α——相邻两槽间的电角度，简称槽距角

$$\alpha=\frac{360^\circ p}{Z_1}$$

m——相数，$m=3$

$2p$——电动机极数

Z_1——定子槽数

由于$q\alpha=\frac{Z_1}{2pm}\cdot\frac{360^\circ p}{Z_1}=60^\circ$

所以　K_{d1}公式中分子可简化为$\sin\frac{q\alpha}{2}=\sin\frac{60^\circ}{2}=\sin 30^\circ$

$=0.5$

又 $$\alpha=\frac{360^\circ p}{Z_1}=\frac{360^\circ p}{2pqm}=\frac{360^\circ}{6q}=\frac{60^\circ}{q}$$

所以 $$K_{d1}=\frac{\sin\frac{q\alpha}{2}}{q\sin\frac{\alpha}{2}}=\frac{0.5}{q\sin\frac{30^\circ}{q}}$$

例：有一台三相异步电动机，已知$Z_1=72$，$2p=4$极，求绕组分布系数？

解： $$q=\frac{Z_1}{2pm}=\frac{72}{4\times3}=6$$

$$\tau=\frac{Z_1}{2p}=\frac{72}{4}=18$$

$y=0.83\tau=0.83\times18=14.94$，取15 即$y=1-16$

$$\alpha=\frac{360^\circ p}{Z_1}=\frac{360^\circ\times2}{72}=10^\circ$$

$$K_{d1}=\frac{0.5}{q\sin\frac{\alpha}{2}}=\frac{0.5}{6\sin\frac{10^\circ}{2}}=0.956$$

说明此台电动机绕组分布安置后，比集中安置线圈时所感应的电动势降到95.6%，如果原绕组匝数为100匝，其所起的电磁作用只相当于95.6匝，要达到100匝的效果，还要增加4.4匝以上。

对于ν次谐波的分布系数可按下式计算。

$$K_{d\nu}=\frac{\sin\left(\nu q\frac{\alpha}{2}\right)}{q\sin\left(\nu\frac{\alpha}{2}\right)}$$

仍用上例求出谐波ν分别为3、5、7、9、11、13次谐波的分布系数如下。

3次谐波的分布系数K_{d3}：

$$K_{d3}=\frac{\sin\left(\nu\frac{q\alpha}{2}\right)}{q\sin\left(\nu\frac{\alpha}{2}\right)}=\frac{\sin\left(\frac{3\times6\times10^\circ}{2}\right)}{6\sin\left(\frac{3\times10^\circ}{2}\right)}=0.645$$

5 次谐波的分布系数 K_{d5}：

$$K_{d5}=\frac{\sin\dfrac{5\times 6\times 10^{\circ}}{2}}{6\sin\dfrac{5\times 10^{\circ}}{2}}=0.197$$

7 次谐波的分布系数K_{d7}：

$$K_{d7}=\frac{\sin\dfrac{7\times 6\times 10^{\circ}}{2}}{6\sin\dfrac{7\times 10^{\circ}}{2}}=0.145$$

9 次谐波的分布系数K_{d9}：

$$K_{d9}=\frac{\sin\dfrac{9\times 6\times 10^{\circ}}{2}}{6\sin\dfrac{9\times 10^{\circ}}{2}}=0.236$$

11次谐波的分布系数K_{d11}：

$$K_{d11}=\frac{\sin\dfrac{11\times 6\times 10^{\circ}}{2}}{6\sin\dfrac{11\times 10^{\circ}}{2}}=0.102$$

13次谐波的分布系数K_{d13}：

$$K_{d13}=\frac{\sin\dfrac{13\times 6\times 10^{\circ}}{2}}{6\sin\dfrac{13\times 10^{\circ}}{2}}=0.092$$

通过上面计算看出，谐波次数越高，分布系数越低，所以绕组分布安置也是改善电动势波形的措施。

（2）短距系数 K_p。如前所述，双层绕组选择合适的短距线圈可以改善磁场波形和削弱高次谐波。通常为了削弱 ν 次谐波，可选择线圈节距 $y=\tau-\frac{\tau}{\nu}=\left(1-\frac{1}{\nu}\right)\tau$，比如要求消除了3、5、7次高次谐波，则线圈节距分别选为：

$$y_3=\tau-\frac{\tau}{\nu}=\tau-\frac{\tau}{3}=\frac{2}{3}\tau=0.667\tau$$

$$y_5=\frac{4}{5}\tau=0.8\tau$$

$$y_7=\frac{6}{7}\tau=0.86\tau$$

由于三相绕组接成△接法或丫接法，所以三次谐波对外无影响。因此，选择线圈节距时重点是削弱5、7次谐波。上面曾提过7次以上谐波由于谐波次数越高，其幅值越小，所以一般不考虑。因此，为削弱最主要的5、7次谐波，在选择线圈节距时是用$y=0.83\tau$计算，0.83就是0.80和0.86的平均值。

短距线圈虽然能削弱高次谐波，但因线圈节距缩短，线圈中的感应电动势要小，为了达到整节距线圈时的感应电动势，必需增加线圈的匝数，保持有效匝数不变。所谓有效匝数是指绕组系数乘上实际线圈匝数。设线圈实际匝数为W_1，则有效匝数为$K_{p1}W_1$。因此，短距系数不可太低，也就是要求线圈的节距大小应接近整节距。

为什么短距线圈的感应电动势小？这是因为线圈的两边不是处于最大磁场位置，比如一边在N极下，另一边在S极下，但都不是处于N和S极的正弦波最大磁场位置，由于短距线圈边处于较弱的磁场强度位置下，所以线圈感应电动势低。

基波短距系数计算公式：

$$K_{p1}=\sin\frac{ya}{2}$$

当$y=\tau$，是整节距时，则上式写为：

$$K_{p1}=\sin\frac{\tau a}{2}=\sin\frac{\frac{Z_1}{2p}\frac{360^\circ p}{Z_1}}{2}=\sin\frac{180^\circ}{2}=1$$

说明整节距时线圈的短距系数等于1。

当$y<\tau$时，比如选$y=0.83\tau$，则：

$$K_{p1}=\sin\frac{0.83\tau\alpha}{2}=\sin\frac{0.83\times180}{2}=0.965$$

相当于整节距线圈的感应电动势的96.5%，也就是少3.5%。

仍用上例，已知$\beta=\frac{y}{\tau}=\frac{15}{18}$，将$\beta=\frac{y}{\tau}$代入上式，得：

$$K_{p1}=\sin\frac{\nu\alpha}{2}=\sin\frac{\tau\beta\alpha}{2}=\sin\left(\frac{\beta}{2}\ \frac{Z_1}{2p}\ \frac{360^\circ p}{Z_1}\right)$$

$$=\sin\frac{\beta\times180^\circ}{2}=\sin90^\circ\beta=\sin90^\circ\times\frac{15}{18}=0.966$$

相当于整距线圈的感应电势的96.6%。

ν次谐波的短距系数$K_{p\nu}=\sin\left(\nu\frac{y\alpha}{2}\right)=\sin(90^\circ\ \nu\beta)$

当ν分别为3、5、7、9、11、13时，则可求出：

$$K_{p3}=\sin 3\times\frac{15}{18}\times90^\circ=-0.707$$

$$K_{p5}=\sin 5\times\frac{15}{18}\times90^\circ=0.259$$

$$K_{p7}=\sin 7\times\frac{15}{18}\times90^\circ=0.259$$

$$K_{p9}=\sin 9\times\frac{15}{18}\times90^\circ=-0.707$$

$$K_{p11}=\sin11\times\frac{15}{18}\times90^\circ=0.966$$

$$K_{p13}=\sin13\times\frac{15}{18}\times90^\circ=-0.966$$

不论分布系数还是短距系数都是给线圈的感应电动势打折扣的，如果两者同时存在，就要同时考虑这两个因素的影响，也就是要同时乘上这两个系数，所以用绕组系数来表示其影响，即基波绕组系数$K_{dp1}=K_{d1}K_{p1}$；

ν次谐波绕组系数$K_{dp\nu}=K_{d\nu}K_{p\nu}$。

上面介绍的计算公式是用于整数槽绕组的，那末分数槽绕组

系数又如何进行计算呢？

分数槽绕组系数的计算方法如下。

基波绕组系数 $K_{dp1}=K_{d1}K_{p1}=\dfrac{\sin 30^\circ}{N\sin\dfrac{30^\circ}{N}}\sin(90^\circ\beta)$

ν 次谐波的绕组系数：

$$K_{dp\nu}=K_{d\nu}K_{p\nu}=\frac{\sin(30^\circ\ \nu)}{N\sin\dfrac{30^\circ\ \nu}{N}}\sin(90^\circ\ \nu\beta)$$

式中 N——分数槽的每极每相槽数的假分数的分母，比如

$q=2\dfrac{1}{4}=\dfrac{9}{4}$，则：$N=9$ 代入上式即可

例：已知某三相异步电动机，$2p=10$，$Z_1=66$，试计算绕组系数？

解：每极每相槽数 $q=\dfrac{Z_1}{2pm}=\dfrac{66}{10\times 3}=\dfrac{11}{5}$

$$N=11$$

极距 $\tau=\dfrac{Z_1}{2p}=\dfrac{66}{10}=6.6\approx 7$，取 $y=6$

$$\beta=\frac{y}{\tau}=\frac{6}{6.6}=0.91$$

基波绕组系数 K_{dp1}

$$K_{dp1}=\frac{\sin 30^\circ}{N\sin\dfrac{30^\circ}{N}}\sin(90^\circ\beta)=\frac{0.5}{11\sin\dfrac{30}{11}}\sin 81.9^\circ=0.946$$

求高次谐波 ν = 3、5、7、9、11、13 次谐波的绕组系数：

$$K_{dp3}=\frac{\sin 30^\circ\ \nu}{N\sin\dfrac{30^\circ\ \nu}{N}}\sin(90^\circ\ \nu\beta)=\frac{\sin 30^\circ\times 3}{11\sin\dfrac{30^\circ\times 3}{11}}\sin(90^\circ\times 3\times 0.91)=-0.582$$

$$K_{dp5}=\frac{\sin 30^\circ\times 5}{11\sin\dfrac{30^\circ\times 5}{11}}\sin(90^\circ\times 5\times 0.91)=0.147$$

$$K_{dp7}=\frac{\sin 30^\circ\times 7}{11\sin\dfrac{30^\circ\times 7}{11}}\sin(90^\circ\times 7\times 0.91)=0.076$$

$$K_{dp9}=\frac{\sin 30^\circ\times 9}{11\sin\dfrac{30^\circ\times 9}{11}}\sin(90^\circ\times 9\times 0.91)=-0.064$$

$$K_{dp11}=\frac{\sin 30^\circ\times 11}{11\sin\dfrac{30^\circ\times 11}{11}}\sin(90^\circ\times 11\times 0.91)=-0.0014$$

$$K_{dp13}=\frac{\sin 30^\circ\times 13}{11\sin\dfrac{30^\circ\times 13}{11}}\sin(90^\circ\times 13\times 0.91)=-0.021$$

通过上面计算看出，计算公式是很繁锁的，因此建议在具体计算时用查表法，在表中可以直接查出绕组系数值，表1-18为三相双层绕组（60°相带）的绕组系数表。只要知道每极每相槽数之和、线圈节距y，便可在表内找出相应的基波绕组系数。

〔1-28〕 线圈匝数与空载电流、气隙长度、铁心长度，以及线圈跨距之间都有什么关系？

答：

（1）各参数之间的关系：

① 气隙磁通势$A_{T\delta}$

由电机学得知：$A_{T\delta}=2\times(0.8B_\delta\delta)=1.6B_\delta\delta$

式中 B_δ——气隙磁通密度（T）

δ——气隙长度（cm）

考虑齿槽影响时：

$$A_{T\delta}=K_{c1}(1.6B_\delta\delta)$$

式中 K_{c1}——气隙系数（卡氏系数）

② 空载时，整个电动机磁路的磁通势A_{T0}

$$A_{T0}=A_{T\delta}+A_{Tt1}+A_{Tt2}+A_{Tc1}+A_{Tc2}$$

式中 A_{Tt1}——定子齿部磁通势

A_{Tt2}——转子齿部磁通势

表1-18　三相双层绕组（60°相带）绕组系数表

每极每相槽数 q	绕组线圈节距 y（以槽数计）																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0.866	1.00	0.866																	
$1^1/_{10}$	0.778	0.946	0.903																	
$1^1/_8$	0.766	0.941	0.915	0.695																
$1^1/_6$	0.732	0.924	0.942	0.783																
$1^1/_4$	0.711	0.910	0.951	0.829																
$1^3/_{10}$	0.689	0.893	0.954	0.863																
$1^3/_8$		0.869	0.954	0.903	0.722															
$1^2/_5$		0.861	0.953	0.913	0.747															
$1^1/_2$		0.831	0.945	0.945	0.831															
$1^3/_5$		0.795	0.923	0.954	0.883	0.718														
$1^5/_8$		0.786	0.917	0.954	0.893	0.740														
$1^7/_{10}$		0.762	0.901	0.955	0.919	0.806														
$1^3/_4$		0.747	0.890	0.953	0.932	0.826														
$1^4/_5$		0.732	0.877	0.949	0.941	0.853	0.695													
$1^7/_8$		0.710	0.856	0.941	0.950	0.886	0.753													
$1^9/_{10}$		0.703	0.852	0.937	0.952	0.894	0.770													
2		0.683	0.837	0.932	0.966	0.933	0.837	0.683												
$2^1/_{10}$			0.802	0.905	0.952	0.940	0.870	0.747												
$2^1/_3$			0.796	0.901	0.951	0.944	0.880	0.762												
$2^1/_5$			0.778	0.887	0.946	0.951	0.903	0.804	0.659											
$2^1/_4$			0.766	0.877	0.941	0.954	0.915	0.827	0.695											
$2^3/_{10}$			0.754	0.867	0.935	0.955	0.925	0.848	0.727											
$2^3/_8$			0.737	0.852	0.926	0.955	0.937	0.875	0.779											

续表

每极每相槽数q	绕组线圈节距y（以槽数计）																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
$2^2/_5$			0.732	0.847	0.923	0.954	0.941	0.883	0.782	0.645										
$2^1/_2$			0.711	0.829	0.910	0.951	0.951	0.910	0.829	0.711										
$2^3/_5$			0.689	0.807	0.893	0.943	0.954	0.927	0.863	0.764										
$2^5/_8$			0.682	0.802	0.889	0.941	0.955	0.931	0.870	0.775	0.650									
$2^7/_{10}$			0.669	0.786	0.877	0.933	0.955	0.941	0.891	0.808	0.695									
$2^3/_4$				0.778	0.869	0.928	0.954	0.946	0.903	0.827	0.722									
$2^4/_5$				0.769	0.861	0.923	0.953	0.949	0.913	0.844	0.747									
$2^7/_8$				0.754	0.848	0.913	0.948	0.953	0.925	0.867	0.780	0.668								
$2^9/_{10}$				0.750	0.844	0.910	0.947	0.954	0.929	0.874	0.790	0.681								
3				0.735	0.831	0.902	0.945	0.960	0.954	0.902	0.831	0.735								
$3^1/_{10}$				0.714	0.811	0.884	0.932	0.954	0.948	0.916	0.857	0.775	0.670							
$3^1/_8$				0.710	0.806	0.882	0.930	0.930	0.950	0.920	0.864	0.784	0.682							
$3^1/_5$				0.697	0.794	0.870	0.923	0.951	0.953	0.930	0.882	0.811	0.718							
$3^1/_4$				0.689	0.787	0.863	0.917	0.948	0.954	0.936	0.894	0.827	0.740							
$3^3/_{10}$				0.681	0.778	0.856	0.912	0.946	0.955	0.941	0.903	0.842	0.760	0.659						
$3^2/_8$				0.669	0.766	0.845	0.905	0.940	0.915	0.946	0.915	0.868	0.787	0.695						
$3^2/_6$					0.762	0.841	0.901	0.939	0.955	0.948	0.919	0.890	0.796	0.706						
$3^1/_2$					0.747	0.828	0.890	0.932	0.953	0.953	0.932	0.907	0.828	0.747						
$3^3/_8$					0.732	0.813	0.877	0.923	0.945	0.955	0.941	0.927	0.853	0.782	0.695					
$3^3/_4$					0.710	0.792	0.859	0.908	0.941	0.955	0.950	0.925	0.886	0.807	0.753					
$3^4/_5$					0.703	0.785	0.852	0.903	0.937	0.954	0.952	0.932	0.894	0.840	0.770	0.685	0.677			
4					0.677	0.760	0.812	0.865	0.925	0.949	0.958	0.949	0.925	0.885	0.829	0.760	0.747			

续表

每极每相槽数 q	绕组线圈节距 y（以槽数计）																					
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$4^1/_3$	0.731	0.802	0.860	0.905	0.936	0.952	0.954	0.949	0.912	0.879	0.814	0.762										
$4^1/_4$	0.725	0.796	0.855	0.901	0.933	0.951	0.955	0.944	0.919	0.880	0.811	0.803										
$4^2/_5$	0.707	0.778	0.830	0.887	0.924	0.945	0.955	0.951	0.833	0.902	0.859	0.827										
$4^1/_2$	0.695	0.766	0.827	0.877	0.915	0.941	0.954	0.954	0.941	0.915	0.877	0.848	0.792	0.727								
$4^3/_5$	0.682	0.752	0.811	0.867	0.907	0.935	0.951	0.955	0.946	0.925	0.892	0.875	0.827	0.779	0.703							
$4^3/_4$		0.737	0.800	0.852	0.894	0.926	0.946	0.955	0.952	0.937	0.912	0.882	0.831	0.782	0.718	0.645						
$4^4/_5$		0.731	0.794	0.847	0.887	0.922	0.440	0.954	0.953	0.941	0.917	0.910	0.814	0.829	0.774	0.711						
5		0.711	0.774	0.829	0.874	0.910	0.936	0.951	0.957	0.951	0.936	0.931	0.905	0.870	0.827	0.775	0.716	0.653				
$5^1/_4$		0.682	0.747	0.802	0.850	0.889	0.919	0.941	0.951	0.955	0.947	0.941	0.920	0.891	0.853	0.808	0.755	0.695				
$5^2/_5$		0.669	0.731	0.788	0.836	0.877	0.909	0.933	0.945	0.955	0.952	0.945	0.928	0.902	0.869	0.827	0.778	0.722	0.659			
$5^1/_2$		0.659	0.722	0.778	0.827	0.869	0.902	0.928	0.945	0.954	0.954	0.953	0.933	0.925	0.900	0.867	0.827	0.780	0.727	0.668		
$5^3/_4$			0.698	0.754	0.804	0.848	0.884	0.913	0.935	0.948	0.955	0.954	0.945	0.929	0.904	0.874	0.836	0.790	0.739	0.681		
$5^4/_5$			0.693	0.750	0.800	0.844	0.881	0.910	0.933	0.947	0.954	0.956	0.953	0.924	0.924	0.896	0.867	0.828	0.783	0.732	0.676	
6			0.676	0.732	0.783	0.828	0.867	0.898	0.924	0.942	0.953	0.954	0.955	0.948	0.936	0.916	0.890	0.857	0.814	0.775	0.725	0.670
$6^1/_5$			0.658	0.714	0.765	0.811	0.850	0.884	0.911	0.932	0.954	0.953	0.955	0.950	0.938	0.920	0.895	0.864	0.827	0.784	0.796	0.682
$6^1/_4$			0.656	0.710	0.761	0.806	0.846	0.882	0.908	0.930	0.954	0.951	0.953	0.953	—	0.930	—	0.882	—	0.811	—	0.718
$6^2/_5$				0.697	—	0.794	—	0.870	—	0.923	—	0.948	—	0.954	—	0.936	—	0.894	—	0.827	—	0.740
$6^1/_2$				0.689	—	0.787	—	0.863	—	0.917	—	0.946	0.953	0.955	0.951	0.940	0.924	0.903	0.875	0.842	0.804	0.760
$6^3/_5$				0.681	0.731	0.778	0.819	0.856	0.887	0.912	0.932	0.940	0.951	0.955	0.953	0.946	0.933	0.915	0.891	0.862	0.827	0.787
$6^3/_4$				0.669	0.711	0.766	0.808	0.843	0.877	0.905	0.925	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7						0.747	—	0.823	—	0.839	—	0.932	—	0.953	—	0.953	—	0.932	—	—	—	—

注：如果是120°相带（每对极3个极相组）的绕组时，还应将上述的绕组系数乘以0.866。

A_{Tc1}——定子轭部磁通势

A_{Tc2}——转子轭部磁通势

通常，$A_{Tt1}+A_{Tt2}+A_{Tc1}+A_{Tc2}\approx(0.3\sim0.5)A_{T\delta}$

故可得 $A_{T0}=K_H(A_{T\delta})$

式中 K_H——饱和系数，取1.3～1.5

③ 由电机学得知，为了产生（或维持）每极磁通ϕ，三相分布绕组在三相平衡电流下应有的基波磁通势幅值为：

$$A_{T1}=\frac{2\sqrt{2}}{\pi}m_1\frac{W_1K_{dp1}}{p}I_1 \qquad (A/极对)$$

式中 m_1——定子相数，此处$m_1=3$

W_1——定子绕组每相串联匝数

K_{dp1}——绕组系数

I_1——定子电流，空载时为I_0

空载时，$A_{T0}=2.7\frac{W_1K_{dp1}}{p}I_0$ （A/极对）

由此式可以求出空载电流I_0：

$$I_0=\frac{A_{T0}p}{2.7W_1K_{dp1}}=\frac{K_HA_{T\delta}p}{2.7W_1K_{dp1}}=\frac{K_H(1.6B_\delta\delta K_{c1})p}{2.7W_1K_{dp1}} \qquad (1)$$

$$=\frac{0.593pK_HK_{c1}\delta}{W_1K_{dp1}} \quad (A)$$

④ 又知，交流分布绕组产生的基波电动势E_1：

$$E_1=4.44f\left(\frac{2}{\pi}\tau L_{Fe}\right)B_\delta W_1K_{dp1}10^{-4} \quad (V)$$

式中 f——电源频率（Hz）

τ——极距（cm）

L_{Fe}——定子铁心长度（cm）

又知 $E_1=K_EU_{\phi1}$

式中 $U_{\phi1}$——电源相电压

K_E——电压降系数

由上两式得出：

$$B_\delta=\frac{K_pU_{\phi 1}\times 10^4}{4.44f\left(\frac{2}{\pi}\tau L_{Fe}\right)W_1K_{dp1}}\quad(\mathrm{T})\qquad(2)$$

⑤ 将式（2）代入式（1）中，并经整理得：

$$I_0=K\left(\frac{K_H\delta K_{c1}}{W_1^2K_{dp1}^2L_{Fe}}\right)\qquad(3)$$

式中 K=常数，$K=\dfrac{0.593pK_pU_{\phi 1}\times 10^4}{4.44f\left(\frac{2}{\pi}\tau\right)}$

⑥ 若对电动机经重绕后的各参数分别标以上标“′”，则式（3）为

$$I_0'=K\frac{K_H'\delta' K_{c1}'}{(W_1')^2(K_{dp1}')^2L'_{Fe}}\qquad(4)$$

式中 δ'——表示由于种种原因，气隙长度δ有所变化的新气隙长度。

⑦ 以式（4）与式（3）比较，可得

$$\frac{I_0'}{I_0}=\left(\frac{K_H'}{K_H}\right)\left(\frac{K_{c1}'}{K_{c1}}\right)\left(\frac{\delta'}{\delta}\right)\left(\frac{W_1}{W_1'}\right)^2\left(\frac{K_{dp1}}{K_{dp1}'}\right)\left(\frac{L_{Fe}}{L'_{Fe}}\right)\qquad(5)$$

或

$$\frac{W_1'}{W_1}=\frac{K_{dp1}}{K_{dp1}'}\sqrt{\frac{K_H'\delta' K_{c1}'I_0}{K_H\delta K_{c1}I_0'}}\qquad(6)$$

当每极每相槽数不变时，绕组分布系数不变，故式（6）可写成：

$$W_1'=W_1\frac{K_{p1}}{K_{p1}'}\sqrt{\frac{K_H'}{K_H}\,\frac{\delta'}{\delta}\,\frac{K_{c1}'}{K_{c1}}\,\frac{I_0}{I_0'}}\qquad(7)$$

式中 K_{p1}、K_{p1}'——改绕前后的绕组短距系数。

（2）将公式进一步简化。如果为了调整电动机的空载电流而需要增加线圈匝数时，则必将引起气隙磁密B_δ降低，K_H减小，故$\sqrt{K_H'/K_H}<1$。经统计计算，$\sqrt{K_H'/K_H}=0.94\sim0.96$；反之，如若减少线圈匝数，则$B_\delta$上升，$K_H$增大，故$\sqrt{K_H'/K_H}>1$，其值约为1.05～1.08之间。于是得出：

当匝数增加时：

$$W'_1=(0.94\sim0.96)\frac{K_{p1}}{K'_{p1}}\sqrt{\frac{K'_{c1}}{K_{c1}}\ \frac{\delta'}{\delta}\ \frac{I_0}{I_0'}\ \frac{L_{Fe}}{L'_{Fe}}}\ W_1 \quad (8)$$

当匝数减少时

$$W'_1=(1.05\sim1.08)\frac{K_{p1}}{K'_{p1}}\sqrt{\frac{K'_{c1}}{K_{c1}}\ \frac{\delta'}{\delta}\ \frac{I_0}{I'_0}\ \frac{L_{Fe}}{L'_{Fe}}}\ W_1 \quad (9)$$

进一步可求得在某些特定条件下的一些可用于调整空载电流的匝数的简捷计算公式，例如：当δ、K_{p1}、K_{c1}和L_{Fe}不变，且匝数增加时

$$W'_1=(0.94\sim0.96)\left(\frac{I_0}{I'_0}\right)^{1/2}W_1 \quad (10)$$

或

$$I'_0=I_0(0.88\sim0.92)\left(\frac{W_1}{W'_1}\right)^2 \quad (11)$$

在同样条件下，减少匝数时

$$W'_1=(1.05\sim1.08)\left(\frac{I_0}{I'_0}\right)^{1/2}W_1 \quad (12)$$

或

$$I'_0=I_0(1.1\sim1.7)\left(\frac{W_1}{W'_1}\right)^2 \quad (13)$$

为了便于初步估计，假定空载电流的变化率为：

$$\Delta I_0=\frac{I'_0-I_0}{I_0}\times100\%$$

调整线圈匝数的变化率为：

$$\Delta W_1=\frac{W'_1-W_1}{W_1}\times100\%$$

则根据上述式（10）～（13）可估算出ΔI_0与ΔW_1之间的一般关系，见表1-19。

表1-19　ΔI_0与ΔW_1之间的一般关系

$\pm\Delta I_0$(%)	15	20	25	30	35	40	45	50
$+\Delta W_1$(%)	2	4	6	9	10	13	15	17
$-\Delta W_1$(%)	1	3	5	7	8	10	11	13

注：$+\Delta W_1$表示$W'_1>W_1$，增加匝数；$-\Delta W_1$表示$W'_1<W_1$，减匝数。$+\Delta I_0$表示减匝数引起的空载电流变化率，$-\Delta I_0$表示增匝数引起的I_0变化率。

通过上述推论，可以得出几组换算公式：

① 当其他条件未变，只是由于气隙增大而空载电流偏高，且需用调整定子绕组线圈匝数来减小空载电流时，则新的匝数初定值为：

$$W'_1=W_1(0.94\sim0.96)\sqrt{\frac{K_{c1}}{K'_{c1}}\cdot\frac{\delta'}{\delta}} \tag{14}$$

通常，气隙的增大量不大，故可近似认为：

$$W'_1=W_1(0.94\sim0.96)\sqrt{\frac{\delta'}{\delta}} \tag{15}$$

② 当其他条件未变，只是由于铁心长度不符合要求，且需用改变定子线圈匝数来调整空载电流时，则新的匝数初定值为：

（a）铁心长度嫌短，需要增加匝数时；

$$W'_1=W_1(0.94\sim0.96)\sqrt{\frac{L'_{Fe}}{L_{Fe}}}$$

（b）铁心长度嫌长，需要减少匝数时：

$$W'_1=W_1(1.05\sim1.08)\sqrt{\frac{L_{Fe}}{L'_{Fe}}}$$

③ 当其他条件不变，只是由于线圈节距不恰当而引起空载电流偏大时，为了调整空载电流，应使定子线圈匝数为

$$W'_1=W_1(0.94\sim0.96)\frac{K_{p1}}{K'_{p1}}$$

反之，如欲减少匝数以增大空载电流（当然这种情况极少），则

$$W'_1=W_1(1.05\sim1.08)\frac{K_{p1}}{K'_{p1}}$$

（3）计算示例：

① 有一台J2-82-6型40kW的三相异步电动机，定子系双层叠绕组，正常的空载电流 $I_0=22$A，现在实测 $I'_0=33$A。重绕时知其原有定子绕组线圈为12匝，且气隙长度及绕组节距等均无缺陷，今欲增加线圈匝数以使其空载电流降低到正常值，试计算重绕线圈的匝数？

解：因为是增加匝数，所以新匝数 W'_1 为

$$W_1'=0.95\,W_1\sqrt{\frac{I_0}{I_0'}}=0.95\times12\sqrt{\frac{33}{22}}=13.96$$

取$W_1'=14$匝（公式系数0.94～0.96 取平均值0.95）。

② 有一台JO-42-4型，2.8kW的三相异步电动机，正常气隙长度$\delta=0.3$mm，因各种原因使气隙长度扩大到$\delta'=0.41$mm，空载电流由正常值$I_0=2.6$A 升至$I_0'=4.1$A。今拟在重绕时增加定子线圈匝数，以使其空载电流恢复到原有值，且已知原有$W_1=36$匝，求新匝数W_1'？

解：
$$W_1'=0.95W_1\sqrt{\frac{\delta'}{\delta}}=0.95\times36\times\sqrt{\frac{0.41}{0.30}}$$
$$=39.98,\ \text{取}40\text{匝}$$

〔1-24〕 怎样把单层整节距绕组改成单层链式绕组？

答：图1-23为三相 4 极24槽单层整节距绕组接线图，庶极接法。其计算过程如下：

极距$\tau=\dfrac{Z_1}{2p}=\dfrac{24}{4}=6$

每极每相槽数$q=\dfrac{Z_1}{2pm_1}=\dfrac{24}{4\times3}=2$

因是整节距$y_1=1+2q=5$，即y_1为 1 — 6 槽，

$y_2=3+2q=3+4=7$，即y_2为 1 — 8 槽，如图1-23（a）所示。图中只画出一相接线。

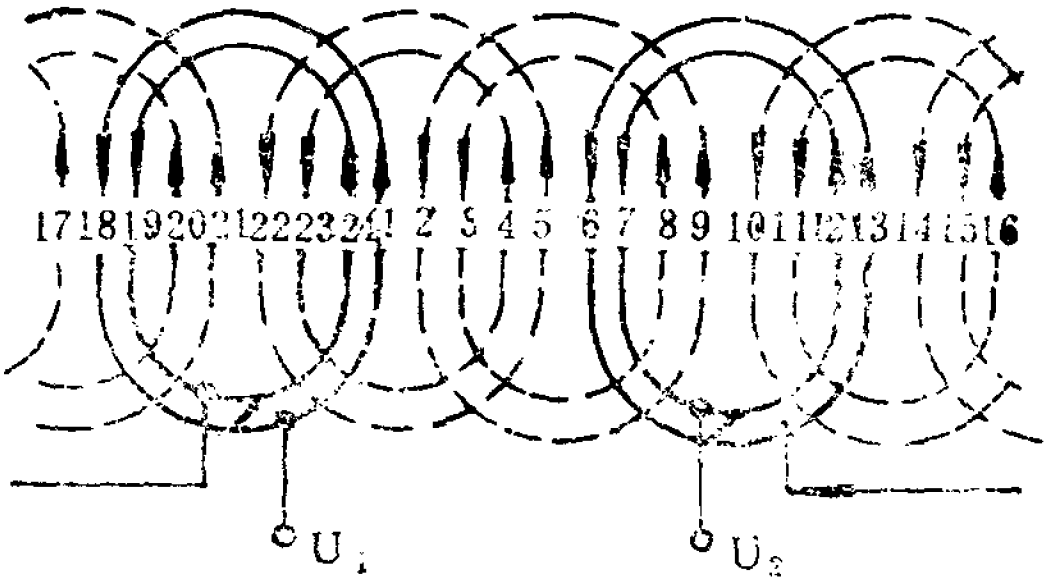
平均节距$y=\dfrac{y_1+y_2}{2}=\dfrac{5+7}{2}=6$，所以是单层整节距绕组。

槽距角：$\alpha=\dfrac{360^\circ p}{Z_1}=\dfrac{360^\circ\times2}{24}=30^\circ$

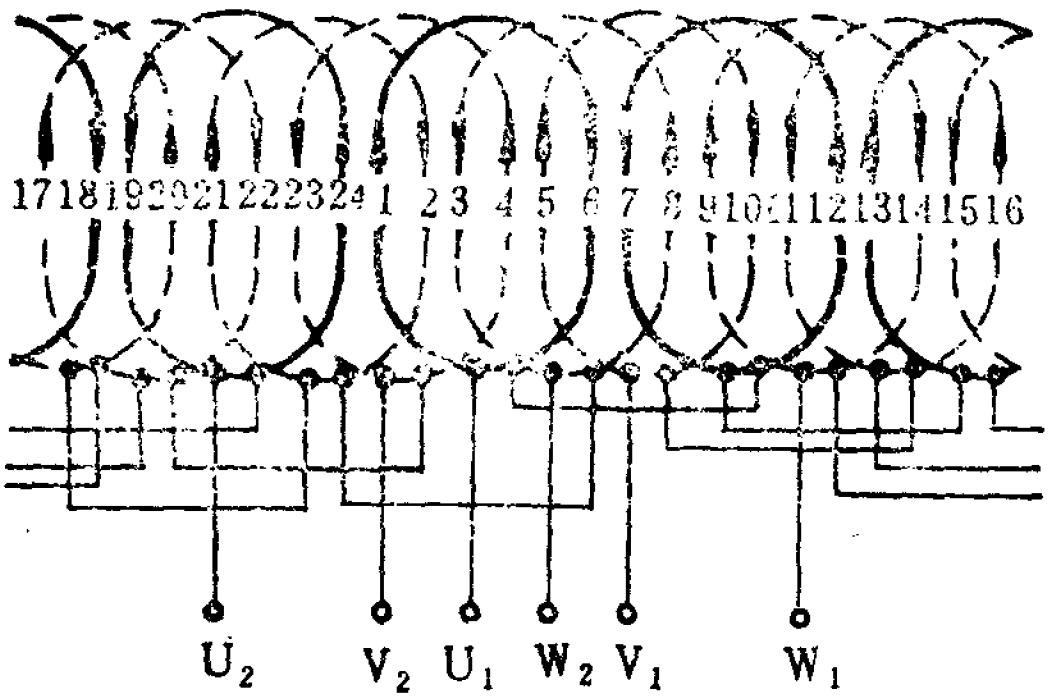
相带为：$\alpha q=30^\circ\times2=60^\circ$

三相引出线槽距：$\dfrac{120^\circ}{\alpha}=\dfrac{120^\circ}{30^\circ}=4$，如果U相起端引出线为槽 1 时，则V相起端引出线应在 1 + 4 = 5 槽内，W相起端引出线应在 5 + 4 = 9 槽内，如图 1-23（b）所示。

现在欲改为单层链式绕组，画图步骤如下：



(a)



(b)

图1-23　三相 4 极24槽单层整节距绕组改成单层链式绕组接线图

(a)原绕组接法　(b)改成单层链式绕组接法

（1）首先画出槽号，用24条垂直线数代表槽，标出槽号 1 ～ 24槽。

（2）根据 $q = 2$，画出 1 、 2 号两槽电流箭头，比如向上，图中是 1 槽和24槽，则相邻 3 、 4 两槽电流箭头方向应向下，图中是 2 、 3 两槽，按此规律一直标志到24槽为止。

（3）按显极接线型式（即 4 极电动机要画出 4 个线圈），使 $q = 2$ 分裂开来，即每个线圈边嵌放在两个相邻槽内。先画出一个相的 4 个线圈，如图1-23（b）所示。

（4）将此四个线圈作为一相（U_1到U_2）连接起来，按尾尾连接或首首连接。

（5）按上面计算出的三相引出线端所占的槽，画出三相的引出线端U_1、U_2；V_1、V_2；W_1、W_2。

（6）按要求接成丫或△接法。

（7）最后检查各相线圈组的电流箭头方向与未改前的绕组展开图图1-23（a）比较是否一致，如果一致，则说明改得正确。

〔1-25〕 怎样把单层交叉同心式绕组改为单层交叉链式绕组？

答：见图1-24（a）给出三相4极36槽单层交叉同心式绕组展开图，线圈节距为1—10槽，因极距 $\tau=\frac{Z_1}{2p}=\frac{36}{4}=9$，所以是单层整节距绕组，短距系数为1。又看出 $q=\frac{Z_1}{2pm_1}=\frac{36}{4\times 3}=3$，所以欲改成交叉链式绕组时，在绕制线圈时必须有两个节距相同的大线圈同心绕或交叉绕，另外要有一个小节距的线圈单绕，见图1-24（b）所示。此图例线圈的节距有两个线圈节距为1—9槽，另外一个线圈节距为1—8槽，显然线圈节距缩短了，所以线圈端部伸长也缩短了，节省铜线，提高电动机效率。

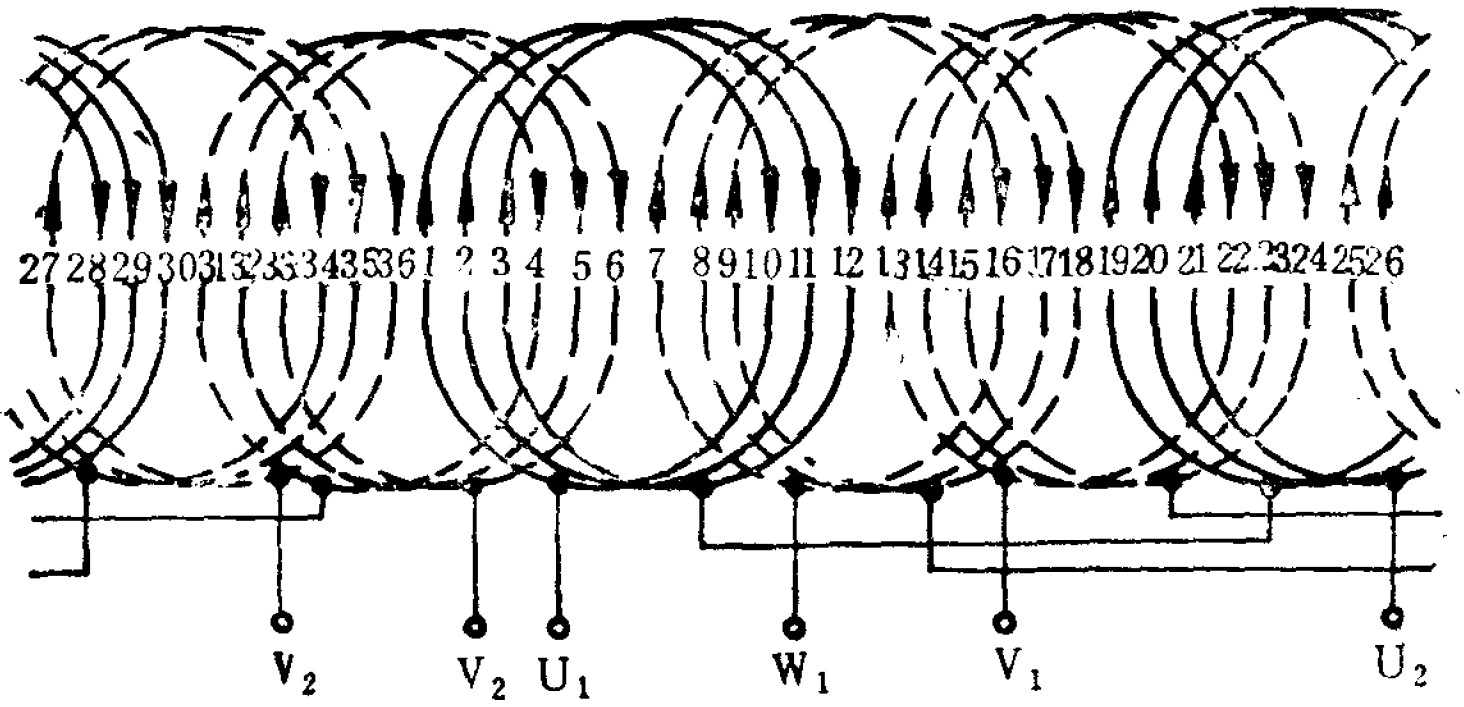
如果不看绕组过线和端部形状，只看铁心槽内线圈组数和电流箭头方向，这两个绕组展开图，即图1-24（a）和（b）没有什么区别，在电磁效果上是一样的，改后的绕组仍是整节距，在工艺上或在形式上是短节距，所以叫工艺短节距。

下面比较两种展开图在工艺上的不同点。

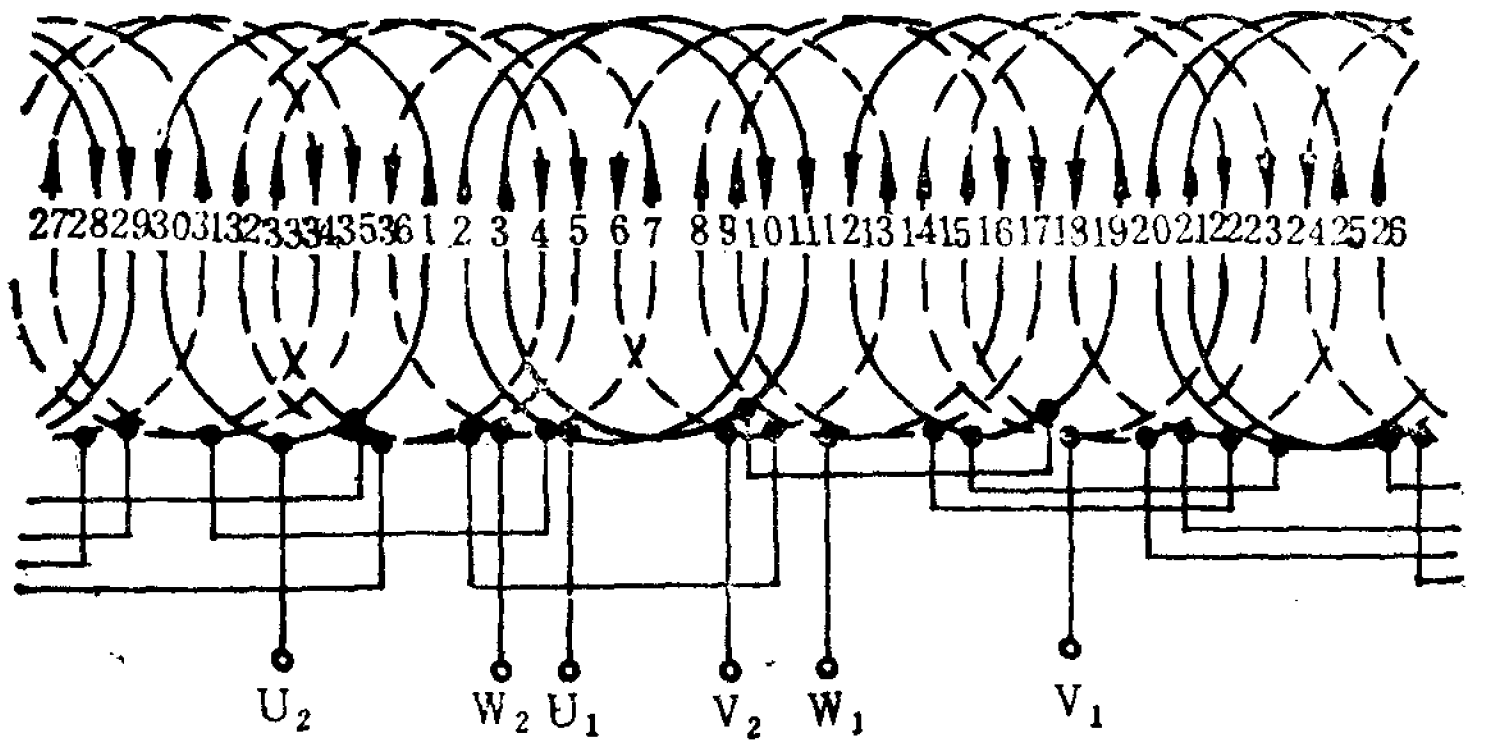
图1-24（a）由于线圈尺寸都一样，所以制造木模简单，而且，绕组端部的连接过桥线也较少。而图1-24（b）由于每个线圈的型式有两种，所以木模制造较麻烦，同时端部过线较多，在工艺上较麻烦。但总的比较，改为交叉链式绕组型式时，利大于弊。

在改制时，要先计算出每极每相槽数 q、极距 τ，同时画出槽号，标志出电流箭头方向，按电流方向和 q 值可试画线圈，线圈画好后，再将同一相的线圈连接起来。

最后按电流箭头方向检查每1相绕组连接情况，如果保证



(a)



(b)

图1-24　三相 4 极36槽单层整距绕组改为单层交叉链式绕组接线图
(a)原绕组接法　(b)改为单层交叉式绕组接法

q 值和相带为 60° 电角度，就可以指导嵌线和连接线工作。

要注意，q 内三个线圈要处于相邻槽内，比如槽 1 、 2 、 3 为一个线圈组。两槽之间电角度 $\alpha=\frac{360^\circ p}{Z_1}=\frac{360^\circ\times 2}{36}=20^\circ$，所以三个槽为$20^\circ\times 3=60^\circ$，叫连续 60° 相带。所谓相带就是一个极相组线圈所占的电角度，或者说是每相绕组在每个磁极下所占的区段，分别用电角度或槽数表示。

在画绕组展开图时，避免画成图1-25的样子，这种绕组叫断

续相带绕组。因为 q 个绕组不是相邻在三个槽内，而是占四个槽的区段（此图占36、1、2、3槽区段），这会引起电动机磁通势分布不均，铁耗增大，使电动机起动性能变坏。

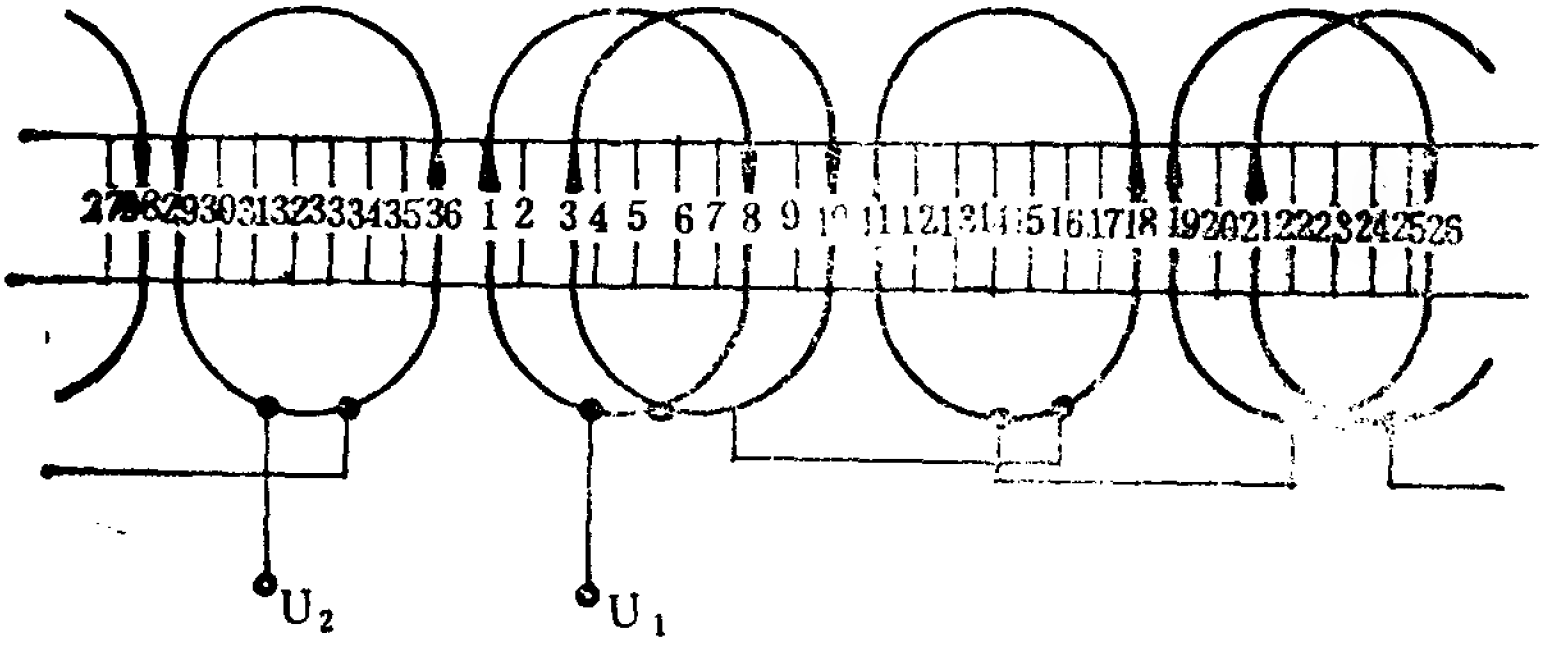


图1-25　三相 4 极36槽断续相带绕组展开图

〔1-26〕　怎样把单层绕组改为双层绕组？

答：我国早年生产的J、JO系列，以及前苏联生产的A、AO系列电动机，容量在10kW以下时，常采用单层绕组。后来我国生产的J2、JO2系列电动机，在1～5号机座范围内，也是采用单层绕组，这类电动机相应的容量在0.6～13kW。目前我国生产的Y系列电动机，在中心高度H132以下，及H160、H180等电动机，也是采用单层绕组。修理实践表明，对于某些电动机将单层绕组改为双层绕组后，在节铜、节电和改善电磁性能上比单层绕组更有利。首先铜重可减少10%～15%。这是因为改双层绕组后，绕组端部长度缩短了，同时因双层绕组的节距可以选择得更合理（一般选为极距的83%左右），使绕组产生的磁场更接近于正弦波，从而改善了电动机的电磁性能。另外，由于减少绕组有效电阻和感抗，使电动机的效率和功率因数均有所提高。电动机制造时，主要考虑在小型电动机上采用双层绕组操作不方便，但修理电动机时，由于不是批量生产、宁可费些工时，采用双层绕组可以节省铜材和节电。

实例：JO-42-4型，2.8kW三相异步电动机，将单层链式绕

组改成双层绕组后，铜重由3.6kg降为3.2kg，节铜11%，并且电动机功率因数和效率均有提高。

原始数据：单层链式：线圈节距为1—10槽，线圈导线ϕ1.25，截面积为1.227mm^2，每个线圈的匝数为36匝，每相串联匝数$W_1=216$。

改双层绕组后的线圈节距为1—7槽。

每相线圈匝数

$$W'_1=0.96\frac{K_{dp1}}{K'_{dp1}}W_1=0.96\times\frac{216}{0.866}=239$$

每槽匝数

$$W'_{sc}=\frac{6W'_1}{Z_1}=\frac{6\times239}{36}=40$$

导线截面积

$$S'_1=\frac{W_{sc}}{W'_{sc}}S_1=1.227\times\frac{36}{40}\approx1.1(\text{mm}^2)$$

选标准裸导线直径ϕ1.2mm。

式中 W'_1、W_1——改后和改前每相串联匝数

K'_{dp1}、K_{dp1}——改后和改前的绕组系数

Z_1——定子槽数

W'_{sc}——改后绕组的每槽匝数

S'_1、S_1——改后和改前的导线截面积（mm^2）

0.96——经验系数

再有，对于JO-52-4，7kW三相异步电动机，改成双层绕组后，也获得相同的节省材料和节电的效果。

在选择单层绕组改制双层绕组时，要考虑导线直径的粗细。根据修理实践知道，对于导线直径较粗者，适于采用在双层绕组，其线圈端部厚度比单层绕组少一倍。通常，单层绕组是采用直径较细的导线或用数根导线并绕，目的是适于绕制单层绕组，并且具有较大的铜填充系数。因此，欲改制双层绕组时，建议把数根并绕的细导线改用较粗的导线代用，不过要注意槽口尺寸是否允许粗导线嵌入槽内，同时，导线也不宜太粗，否则嵌线困难，一

般以不大于ϕ1.81mm为宜。

在改制双层绕组时，还有一个有利条件，就是当定子铁轭高度小、端盖与铁心端部距离小时，必须采用双层绕组，因为双层绕组端部沿定子圆周分布均匀，并能缩短伸出铁心的绕组端部长度。相反，如欲将双层绕组改为单层或单双层混合绕组时，则必须考虑到电动机具体结构特点。

〔1-27〕 怎样把双层绕组改为单双层混合绕组？

答：单双层混合绕组具有双层短距绕组能改善磁势波形、起动性能良好、降低附加损耗等特点，同时也具有单层绕组的槽满率高、线圈数目少等特点。与双层绕组比较，它可以获得较大的有效跨距，使绕组系数提高，尤其对于两极电动机，效果很显著。如果单双层混合绕组与双层绕组具有相同的有效跨距，则单双层混合绕组的实际跨距可以缩短，线圈端部长度可缩短，使导线铜重减少。因此，这种绕组可以提高电动机效率，节省铜线，降低温升。

由于单双层混合绕组的线圈数比双层绕组的少，仅为双层绕组的$\frac{q+\Delta y}{2q}$倍，Δy为线圈缩小的节距距离，即$\Delta y=\tau-y_1=Z_{p1}-y_1$，这样，由于改善了工艺性，有条件适当增大线圈节距，提高绕组系数，改善波形。

比如2极三相电动机，已知定子槽数$Z_1=24$，双层绕组，线圈节距$y_1=10$。由于绕组是双层绕组，所以线圈数等于槽数，即有24个线圈。当改单双层绕组时，线圈数目减少，按上面给出的公式，计算如下。

$$\text{极距}\ \tau=\frac{Z_1}{2p}=\frac{24}{2}=12$$

已知$y_1=10$，所以$\Delta y=\tau-y_1=12-10=2$

$$\text{每极每相槽数}\ q=\frac{Z_1}{2pm}=\frac{24}{2\times 3}=4$$

单双层混合绕组的线圈数为：

$$\frac{q+\Delta y}{2q}Z_1=\frac{4+2}{2\times 4}\times 24=18$$

比双层绕组减少的线圈：$24-18=6$

图1-9是2极24槽5.5kW三相异步电动机的双层绕组展开图。从图中看出，同相线圈边的槽号有1、2、5、6、9、10、13、14、17、18、21、22。把它们改成单层绕组线圈，其余槽内线圈仍保留双层绕组型式，并改成同心式绕组，则得到单双层混合绕组（图1-10）。由上例看出，单双层混合绕组可以由短距双层绕组演变得到。

（1）改绕计算。设电动机总槽数Z_1，每极槽数$Z_{p1}=\frac{Z_1}{2p}$，也就是电动机的极距τ、线圈节距y_k、绕组节距y_1及每极每相槽数q均已知，则：

短距的槽数：$\Delta y=Z_{p1}-y_1=\tau-y_1$

混合绕组的每组线圈数：$n=\frac{q+\Delta y}{2}$

每组线圈中的单层线圈数：$n_d=\frac{q-\Delta y}{2}$

混合绕组同心式线圈节距：

当y为偶数时：

$$y_{k1}=Z_{p1}-1$$
$$y_{k2}=Z_{p1}-3$$
$$y_{k3}=Z_{p1}-5$$
$$\vdots$$
$$y_{kn}=Z_{p1}-(2n-1)$$

当y为奇数时：

$$y_{k1}=Z_{p1}$$
$$y_{k2}=Z_{p1}-2$$
$$y_{k3}=Z_{p1}-4$$
$$\vdots$$
$$y_{kn}=Z_{p1}-(2n-2)$$

根据 q 值，按表1-20选取理论节距 y 和任一相带中单双槽数分布规律，即 $s-d-s$ 型式。d 表示相带中单层线圈所占有的槽数，s 表示相带中双层线圈所占有的槽数。其数值按下面公式计算。

$$s = q - d$$

理论节距

$$y = \frac{3q-s}{3q} = 1 - \frac{s}{3q}$$

$$d = 3q\left(y - \frac{2}{3}\right)$$

表1-20　各种q值推荐使用的单双层混合绕组

每极每相槽数 q	3	4	5	5	6	6	7	8	8
分布型式 $s-d-s$	1-2-1	2-2-2	1-4-1	3-2-3	2-4-2	4-2-4	3-4-3	4-4-4	6-2-6
理论节距	5/6	10/12	14/15	12/15	16/18	14/18	18/21	20/24	18/24
基波绕组系数	0.946	0.924	0.951	0.911	0.943	0.90	0.934	0.924	0.884

上例计算：

已知$Z_1=24$，极数$2p=2$，则：

$$Z_{p1} = \frac{Z_1}{2p} = \frac{24}{2} = 12$$

$$q = \frac{24}{3 \times 2} = 4$$

查表1-20，得到相带中线圈分布型式为2-2-2，理论节距

$$y = \frac{10}{12}$$

$$\Delta y = 13 - 10 = 2$$

$$n = \frac{4+2}{2} = 3$$

$$n_d = \frac{q - \Delta y}{2} = \frac{4-2}{2} = 1$$

由于$y=10$是偶数，则：

$$y_{k1}=12-1=11$$

$$y_{k2}=12-3=9$$

$$y_{k3}=12-5=7$$

$$s=q-d=4-2=2$$

绕组系数按$q=4$，y 一双层绕组计算：

分布系数：$K_{d1}=\dfrac{0.5}{q\sin\dfrac{30^\circ}{q}}=\dfrac{0.5}{4\sin\dfrac{30^\circ}{4}}=0.958$

短距系数：$K_{p1}=\sin y90^\circ=\sin\dfrac{10}{12}\times90^\circ=0.966$

所以绕组系数：$K_{dp1}=K_{d1}K_{p1}=0.958\times0.966$

$=0.925$

各槽线圈分配，见表1-21。

表1-21 各槽线圈分配

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
线圈	a	a	c	c	c	c	b	b			b	b	a	a	c	c			c	c	b	b	a	a
相号									b	b							c	c						

（2）改单双层混合绕组的效果：

① 由双层绕组改单双层混合绕组的效果：电动机性能基本不变，有些电动机会提高些，是由于单双层混合绕组端部缩短，对提高电动机效率和降低温升还是有好处的。

表1-22是JO3-21-2型三相异步电动机由双层绕组改为单双层混合绕组后，电动机效率由81.44%提高到82.28%，效率提高0.84%；电动机温升从69.5 K降为66.2 K，温升降低4.7%、功率因数从0.851提高到0.856。

另一台是JO3-21-4型三相异步电动机，由双层绕组改为单双层混合绕组后，电动机效率从84%提高到84.6%，效率增加

表1-22　改单双层混合绕组的效果

型　号	绕组型式	线　规	每槽导线数	每圈导线数	功率因数	效率，%	温升，K
JO3-21-2	双　层	0.74＋0.77	40	20	0.851	81.44	69.5
	单双层	2 —0.77	单40、双38	单40、双19	0.856	82.28	66.2
JO3-21-4	双　层	0.96	52	26	0.864	84	61
	单双层	2 —0.69	单50、双50	单50、双25	0.863	84.6	60.7

0.6%，电动机温升从61K降为60.7 K，温升降低0.5%，功率因数基本未变。

②　由单层绕组改单双层混合绕组的效果：

实例：JO2-31-2型，3kW三相异步电动机，原绕组为单层同心式，每槽78根导线，导线线径ϕ0.8mm，24槽改单双层混合绕组，改后每槽80根导线，并联支路数$a=2$未改变。电动机改后测试温升，电动机温升从原来的59.5K降为53K，杂散损耗从80W降为53W。铜重由2.55kg降为2.4kg，节铜5.88%。

上述效果是因改单双层混合绕组后，高次谐波比原绕组显著削弱，并且因绕组端部长度缩短，所以用铜量也降低。

由于单层绕组的槽中没有层间绝缘垫，所以槽满率提高了，在改绕计算中，可增粗导线线径。同时，在单双层混合绕组中可计算不同匝数，以求均匀的槽满率，增加导线截面积，提高电动机效率。导线截面积增大，虽然会增加铜重，但增加的铜重可以用缩短绕组端部长度、提高绕组系数和减少匝数所节省的铜重来补偿。因此，电动机效率虽提高，总铜重不但不增，反而会降低些。

〔1-28〕　怎样把双层绕组改为△-丫混合接线的正弦绕组？

答：△-丫混合绕组是普通60°相带绕组的改型绕组。它是把普通绕组的每极每相槽数为q的q个线圈分成两部分，比如$q=4$，说明这个线圈组是由四个线圈串联组成，现在把这四个线圈从中间分成两部分，一部分$q_\Delta=2$为△接绕组的极相组，另一部分$q_Y=2$，为丫接绕组的极相组；当$q=3$时，$q_\Delta=1$或2，$q_Y=2$或1，然后把所有△绕组的极相组q_Δ连接在一起，构成△

绕组，再把所有丫绕组的极相组q_Y连接在一起，构成丫绕组。因此，把60°相带的一整套绕组，拆成两套绕组，这两套绕组的接线规律分别与60°相带绕组相同。将这两套相绕组可以组成△接线或⧋接线。△接线叫延边三角形接线，也叫内三角形接线，因为△绕组在丫绕组的里边；⧋接线叫外三角形接线，因为丫绕组含在△绕组里边。

这两套30°相带的绕组分别产生自己的旋转磁场，电动机中气隙总磁场是由这两部分旋转磁场合成的。由于丫绕组中电流比△绕组中的电流滞后30°电角度，所以定子槽中总电流在任一瞬间沿圆周分布更接近正弦波形。这种绕组优点是：能改善电动机性能；降低电动机温升；提高电动机效率；提高电动机输出功率和功率因数等。

这种绕组所以具有上述许多优点，是因为这种绕组更有效地消除或削弱了高次谐波，改善电动机磁通势波形，提高了绕组系数，降低附加损耗的缘故。因此，如果原电动机附加损耗已经很小，设计又很先进，改用这种绕组型式效果不甚显著 但许多电动机并非如此，尤其老系列电动机，经改用这种绕组后，均收到良好的效果，尤其极数少的2、4极电动机，效率可提高2%～4%。因此，要在修理实践中反复试验和摸索。

（1）△-丫绕组线圈的接线方法。设有一台三相笼型异步电动机，定子槽数$Z_1=48$，$2p=4$，试画出△-丫混合绕组的接线图？

解：每极每相槽数 $$q=\frac{Z_1}{2pm}=\frac{48}{4\times 3}=4$$

槽距角 $$\alpha=\frac{60^\circ}{q}=\frac{60^\circ}{4}=15^\circ$$

因△-丫混合绕组是把q分成两部分，由于$q=4$，所以$q_\Delta=q_Y=2$，即把每个极相组中的四个线圈分成两部分：两个相邻线圈属丫接法，两个相邻线圈属△接法，使$q_Y=q_\Delta=\frac{q}{2}$。

图1-8（a）是普通60°相带绕组简图（仅画出一相）。

图1-8（b）是将60°相带分成30°相带后的接线简图（仅画一相）。

现用1、2、3…表示每槽的线圈号，则上面简图可画出实际接线图。图1-8（c）是每支路的线圈的接线图。

图1-8（d）是△、丫两部分绕组接成△或△的接线图。对于△接线，由于容易产生环流，所以最好不要轻易采用。

如果q为奇数，可把q分为一个偶数和一个奇数。比如$q=5$，把第一个极相组中的5个线圈，分给△部分3个，丫部分2个；再把相邻第二个极相组中的5个线圈，分给△部分2个，丫部分3个，其余类推。

（2）计算实例　一台15kW三相异步电动机，4极。已知定子绕组接线是△接法，线圈节距为1—8槽，并联支路数$a=1$，导线线规2-ϕ1.35（QZ型），定、转子槽配合36/28，每槽匝数2×12。求出定子绕组改△-丫混合绕组。

①　△-丫混合绕组匝数的确定　计算线圈匝数之前，应先确定绕组接线方式。由于△接法在考虑不周时容易造成环流，所以选择△接法。

另外，改△-丫混合绕组的目的是提高电动机性能，降低温升，提高效率和功率因数，所以改绕后的电动机每极磁通和导线中电流密度应接近原来值或稍降低些。

于是得出丫绕组和△绕组的线圈匝数计算公式：

$$Z_{\phi Y}=\frac{Z_{\phi 1}K_{dp1}}{3.46K'_{dp1}}$$

$$Z_{\phi \Delta}=\sqrt{3}Z_{\phi Y}$$

式中　$Z_{\phi 1}$——改变绕组前每相串联导体数，

$$Z_{\phi 1}=\frac{W_{s\cdot}Z_1}{m_1a_1}$$

Z_1——定子槽数

$W_{s\cdot}$——每槽导体数

m_1——定子相数

a_1——并联支路数

K_{dp1}——原绕组的绕组系数

K'_{dp1}——改△-丫混合绕组后的绕组系数

$Z_{\phi Y}$、$Z_{\phi \Delta}$——分别表示丫部分和△部分的每相串联导体数

每个线圈匝数，按下面公式计算：

$$W_{1Y}=\frac{Z_{\phi Y}a_Y}{2pq}$$

$$W_{1\Delta}=\frac{Z_{\phi \Delta}a_\Delta}{2pq}$$

式中 W_{1Y}、$W_{1\Delta}$——分别表示丫部分和△部分每个线圈的匝数

a_Y、a_Δ——分别表示丫部分和△部分每相绕组的并联支路数

$2p$——电动机极数

q——每极每相槽数

仍以上面15kW电动机为例，计算线圈匝数。

已知原电动机绕组系数$K_{dp1}=0.902$，$Z_1=36$槽，双层绕组，每槽匝数 $2\times12=24$(匝)，每槽导体数$W_{sc}=2\times2\times12=48$(匝)。

每相串联导体数：

$$Z_{\phi 1}=\frac{W_{sc}Z_1}{m_1a_1}=\frac{48\times36}{3\times2}=288\ (匝)$$

已知△-丫混合绕组的绕组系数$K'_{dp1}=0.971$

计算 $Z_{\phi Y}=\dfrac{Z_{\phi 1}K_{dp1}}{3.464\times K'_{dp1}}=\dfrac{288\times0.902}{3.464\times0.971}=77\ (匝)$

计算 $Z_{\phi \Delta}=\sqrt{3}\ Z_{\phi Y}=\sqrt{3}\times77=133.5\ (匝)$

从上式求出每个线圈匝数：

$W_{1Y}=Z_{\phi Y}a_Y/2pq=77\times2/4\times3=12.8\ (匝)$

取$W_{1Y}=13$匝

$W_{1\Delta}=Z_{\phi \Delta}a_\Delta/2pq=133.5\times1/4\times3=11.1\ (匝)$

取 $W_{1\Delta}=11\ (匝)$

式中 $a_Y=2$，$a_\Delta=1$

$$q=\frac{Z_1}{2pm}=\frac{36}{4\times 3}=3$$

计算结果：丫部分每线圈13匝，△部分每线圈11匝，均采用2根并绕，因此丫部分导线根数是2×13，△部分是2×11。

丫部分采用2路并联，原因是丫部分的匝数对△部分的匝数比为$\sqrt{3}$，即$Z_{\phi Y}=\frac{Z_{\phi\Delta}}{\sqrt{3}}$；如果丫部分不采取2路并联，这时丫部分每线圈匝数为$W_{1Y}=77\times 1/4\times 3=6.5$（匝），显然6.5匝无法绕线，如果硬改为6匝，则会使线圈匝数与计算值相差太多。由于采用2路并联，则每个线圈匝数为2×6.5=13（匝）是整数，可以顺利绕线了。

② △-丫混合绕组导线截面积的确定。如果电动机原先是△接，当改△时，由于丫部分电流是线电流，所以丫部分的电流大于△部分的$\sqrt{3}$倍。所以在改接为△-丫混合绕组为使电流密度不变，则可使△部分导线截面积等于原电动机导线截面积(必要时，需校验槽满率)，这时丫部分的导线截面积为△部分的$\sqrt{3}$倍。

仍以15kW电动机为例，此电动机原来导线是2-ϕ1.35mm，截面积为2×1.431=2.862mm^2，改△-丫混合绕组后，△部分取ϕ1.35和ϕ1.25mm两根并绕，而丫部分采用2根ϕ1.30 mm并绕。这样，ϕ1.35的截面积为1.431mm^2。又ϕ1.31的截面积为1.327mm^2，2根总截面积为2.654mm^2，因丫部分是两路并联，所以总截面积为2×2.654=5.308mm^2。

③ 绕组在槽中的排列。绕组在槽中的排列规律，见表1-23所示。共36槽。槽1、2和槽19、20内安排△部分的U相线圈组，“+”号表示线圈电流方向，或者表示接线是顺接。槽3和槽21表示丫部分的U相线圈组。槽4、5和槽22、23内安排△部分的W相线圈组，线圈组是逆接“—”，而槽6和槽24是丫部分的W相的线圈组，也是逆接。其余槽和绕组排列均由表内所示。

绕组接线图如图1-26所示。

表1-23　绕组在槽内排列表(定子36槽)

槽　　号	1 19	2 20	3 21	4 22	5 23	6 24	7 25	8 26	9 27
绕组排列	+ U_{Δ}	+ U_{Δ}	+ U_{Y}	− W_{Δ}	− W_{Δ}	− W_{Y}	+ V_{Δ}	+ V_{Δ}	+ V_{Y}
槽　　号	10 28	11 29	12 30	13 31	14 32	15 33	16 34	17 35	18 36
组绕排列	− U_{Δ}	− U_{Δ}	− U_{Y}	+ W_{Δ}	+ W_{Δ}	+ W_{Y}	− V_{Δ}	− V_{Δ}	− V_{Y}

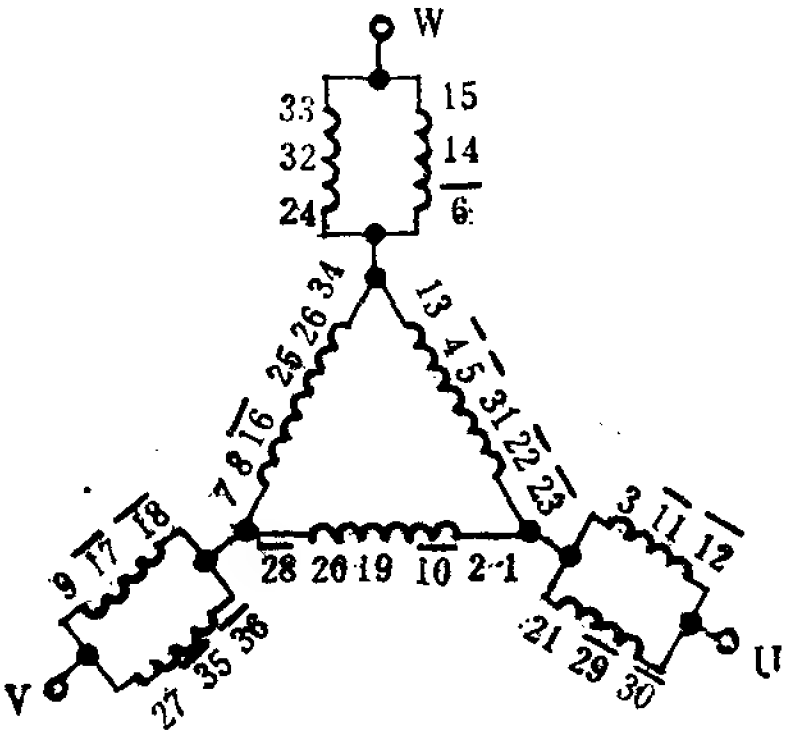


图1-26　△-Y混合绕组接线图

④　改绕后的绕组数据对照表1-24所示。

表1-24　改绕后的绕组数据表

项　　目	原电动机数据	改△-Y混合绕组后数据
绕组接法	△	人
绕组节距	1 — 8	1 — 9
绕组系数	0.902	0.971
并联路数	1	$a_{\Delta}=1$；$a_{Y}=2$

续表

项　　目	原电动机数据	改△-Y混合绕组后数据
每槽匝数	2 × 12	△ = 2 × 11 Y = 2 × 13
线规(QZ)(mm)	2 —ϕ1.35	△ = ϕ1.35 + ϕ1.25 Y = 2 —ϕ1.30
槽满率(%)	80.5	—
电流密度(A/mm^2)	6.1	5.62

⑤ △-丫混合绕组的技术经济效果。以另一台 JO2-93-2，100kW三相 异步电动机改△-丫混合绕组为例，表1-25 内给出此台电动机改 △-丫 混合绕组前后的主要数据和技术经济效果。从此表看出，改绕后电动机每台导线用铜量从62.2kg降为 57.8 kg；电动机温升由 80.6K 下降为 63.7 K；电动机效率从 90.7% 提高到91%。改绕后的绕组接线如图1-27所示。

表1-25　JO2-93-2，100kW电动机改△-Y混合绕组后的主要数据和技术经济效果

电磁数据	改绕组前数据	改△—Y混合绕组后的数据
绕组接法	2 △	2 ⅄
线圈节距	1 —15	1 —15
绕组系数	0.827	0.860
每槽导线数	2 × 6	△部分 2 × 9 /Y部分 2 × 7
线规(QZ)	11—ϕ1.40	8 —ϕ1.30/10—ϕ1.30
槽满率(%)	70.6	66.3/64.4
电流密度(A/mm^2)	3.04	2.82/2.92
线负荷(A/cm)	337	295
温升(K)	80.6	63.7
每台铜重(kg)	62.2	57.8
效　　率	90.7%	91%

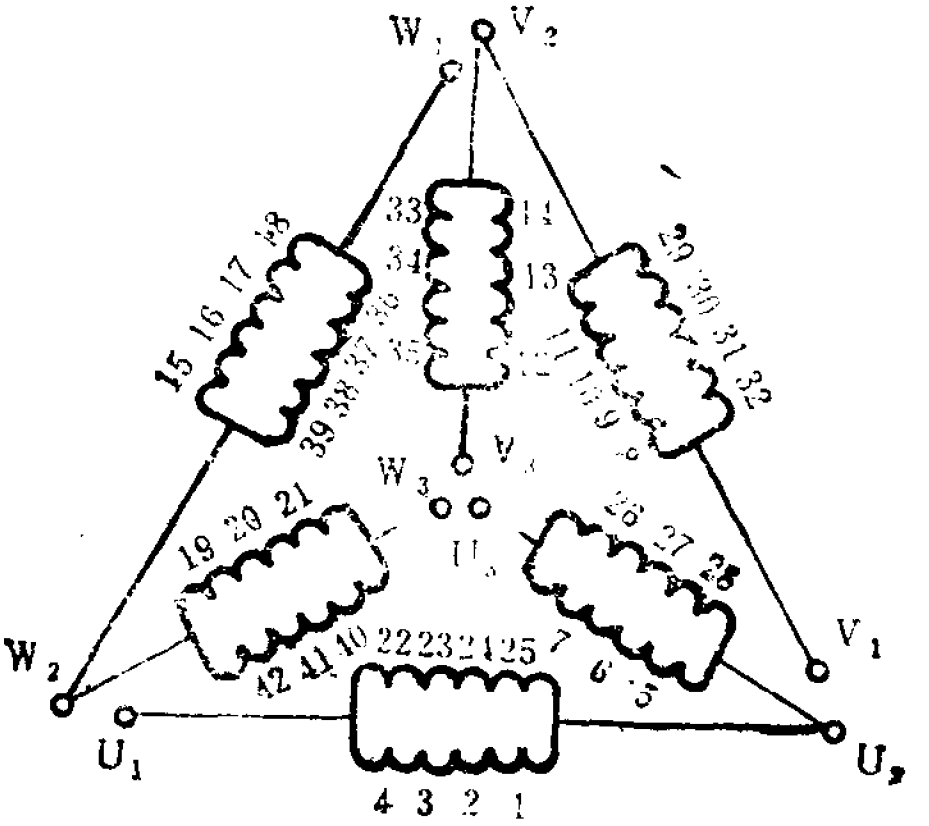


图1-27　△-Y 混合绕组接线图

〔1-29〕　想把 B 级高压电动机重绕成F 级，仍利用原有工装设备，问如何选择绝缘材料？

答：当前许多电动机修理单位想把 B 级绝缘电动机提升为 F 级绝缘，由于 F 级绝缘耐温较高，所以有些绝缘材料要求处理绝缘的温度较高，以往修理 B 级绝缘所使用的工装热压设备就不适应，往往要改造，花费许多人力和物力。事实上如果选用具有低温干燥固化性能的 F 级绝缘材料，就可以完全沿用现有工装设备。下面介绍这种绝缘材料性能和工艺规范。

主绝缘（对地绝缘）选用8031桐马环氧粉云母带代替原来 B 级绝缘的5438-1的粉云母带。匝间绝缘可选用8041桐马大鳞片云母带代替原来的 B 级粉云母带或三合一粉母云带。这样就可以利用原有 B 级绝缘的工装热压设备了。热压后的绕组浸渍可采用配套的 F 级8021绝缘漆。

8031桐马环氧粉云母带是 F 级的桐马多胶带，其各项性能均优于以往5438-1 B 级粉云母带，具有较好的绝缘性能、耐高温、耐电压和机械强度均良好，尤其可贵的是具有低温干燥固化性能，适合电动机修理单位应用。另外，热态介质损耗也小，性能比较稳定。

8041桐马环氧大鳞片云母带也属 F 级绝缘，其特点是云母带内所含的云母是大鳞片，比一般粉云母带中的云母片面积平均大

5～10倍，因此机械强度高，含云母量大，含胶量30%左右，属“中胶”云母带。它比普通粉云母带抗剪性能好，机械强度也高，不需涂刷树脂胶粘剂就能够使线圈各匝之间粘结成整体。

下面介绍3kV高压电动机应用这种绝缘材料的工艺规范。

有一台220kW，3kV，B级高压三相异步电动机，要求定子线圈重绕成F级绝缘。拟采用上述绝缘材料，其工艺规范如下。

（1）匝间绝缘处理：

① 电磁线选用聚酯亚胺漆包单玻璃丝绕包扁铜线。

② 线圈匝间浸8021绝缘漆一遍，在130℃干燥2～3 h，达到半固化。

③ 线圈直线部分采用0.13mm厚的8031云母带半叠包一层，经180℃模压、20min固化。

（2）对地绝缘处理：

① 线圈直线部分用0.04mm厚亚胺薄膜半叠包一层。

② 再用0.12mm厚的8041大鳞片云母带半叠包3层。

③ 再用0.035mm厚热收缩带半叠包一层，经180℃模压25 min固化。

（3）浸渍处理：嵌线和接线后，经130℃干燥16 h，浸8021 F级绝缘漆一次，然后再进行烘干处理。

〔1-30〕 电动机重绕时槽有效面积如何计算？槽满率如何选择和计算？

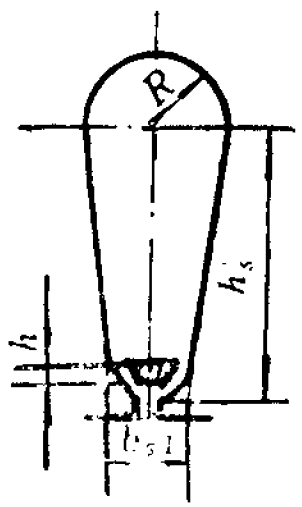
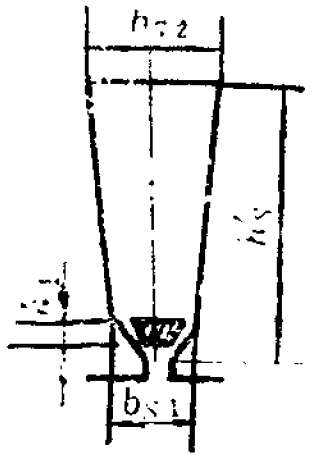
答：表1-26给出在电动机修理中常碰到的几种槽形及槽有效面积计算公式。

电动机槽满率一般选用75%～78%左右，不要超过80%以防因嵌线困难造成线圈匝间绝缘破坏。根据修理的具体情况，在选择确定槽满率时要考虑以下因素。

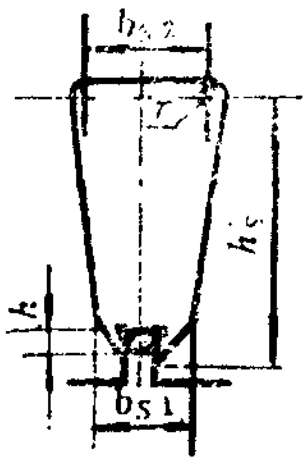
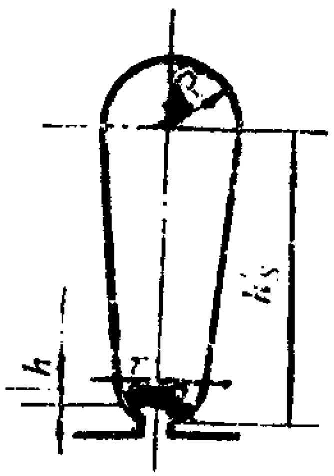
（1）绕组型式：单层绕组槽满率比双层绕组的槽满率应稍大些。

（2）导线绝缘：双玻璃丝包或单丝漆包导线的槽满率应比高强度漆包线高些。

表1-26　槽有效面积计算公式表

序号	槽　　形	槽面积$S_r = F - S_{楔}$(mm²)	槽绝缘所占面积S_i(mm²)	槽有效面积$S_e = S_r - S_1$(mm²)
1		$S_r = \frac{2R + b_{s1}}{2}(h_s' - h) + \frac{\pi R^2}{2}$ $= (R + 0.5b_{s1})(h_s' - h)$ $+ 1.57R$	单层绕组 $S_i = C_i(2h_s' - \pi R)$ 式中C_i——绝缘厚度(mm)	单层绕组 $S_e = (R + 0.5b_{s1})(h_s' - h)$ $+ 1.57R^2 - C_i(2h_s' - \pi R)$
			双层绕组 $S_i = C_i(2h_s' + \pi R + 2R + b_{s1})$	双层绕组 $S_e = (R - 0.5b_{s1})(h_s' - h)$ $+ 1.57R^2 - C_i(2h_s'$ $+ \pi R + 2R + b_{s1})$
2		$S_r = \frac{b_{s2} + b_{s1}}{2}(h_s' - h)$ $= 0.5(b_{s1} + b_{s2})(h_s' - h)$	单层绕组 $S_i = C_i(2h_s' + b_{s2})$	单层绕组 $S_e = 0.5(b_{s1} + b_{s2})(h_s' - h)$ $- C_i(2h_s' + b_{s2})$
			双层绕组 $S_i = C_i(2h_s' + b_{s1} + 2b_{s2})$	双层绕组 $S_e = 0.5(b_{s1} + b_{s2})(h_s' - h)$ $- C_i(2h_s' + h_{s1} + 2b_{s2})$

续表

序号	槽形	槽面积 $S_s = F - S_{楔}$ (mm²)	槽绝缘所占面积 S_i (mm²)	槽有效面积 $S_e = S_s - S_i$ (mm²)
3		$S_s = 0.5(b_{s1} + b_{s2} + 2r)(h_s' - h) + 15.7r^2 + rb_{s2}$	单层绕组 $S_i = C_i(2h_s' + \pi r + b_{s2})$ 双层绕组 $S_i = C_i(2h_s' + b_{s1} + 2b_{s2} + 5.14r)$	单层绕组 $S_e = 0.5(b_{s1} + b_{s2} + 2r)(h_s' - h) + b_{s2}r + 1.57r^2 - C_i(2h_s' + \pi r + b_{s2})$ 双层绕组 $S_e = 0.5(b_{s1} + b_{s2} + 2r)(h_s' - h) + b_{s2}r + 1.57r^2 - C_i(2h_s' + b_{s1} + 2b_{s2} + 5.14r)$
4		$S_s = (R + r)(h_s' - h) + \frac{\pi R^2}{2}$	单层绕组 $S_i = C_i(2h_s' + \pi R)$ 双层绕组 $S_i = C_i(2h_s' + \pi R + 2R + 2r)$	单层绕组 $S_e = (R + r)(h_s' + h) + \frac{\pi R^2}{2} - C_i(2h_s' + \pi R)$ 双层绕组 $S_e = (R + r)(h_s' - h) + \frac{\pi R^2}{2} - C_i(2h_s' + \pi R + 2R + 2r)$

（3）导线材质：高强度漆包铝线的槽满率可以比高强度漆包铜线高些；氧化膜铝线的槽满率应比高强度漆包铜线低些。

（4）槽形尺寸：梨形槽的槽满率可以比梯形槽的槽满率高些。

（5）并绕根数：并绕根数多的槽满率应比并绕根数少的槽满率低。

（6）槽内情况：槽内铁心不齐，各槽尺寸不一致、槽内残余绝缘清理不干净等，均应使槽满率偏低些。

槽满率公式：$S_f=\dfrac{NZ_1d^2}{S_e}\times 100\%$

式中 S_f——槽满率

S_e——槽有效面积（mm^2）。

N——并绕根数

Z_1——槽内总导体数

d——导线绝缘直径（mm）

例：JO-72-6，14 kW 三相异步电动机，已知 $N=3$，导线直径＝1.68mm（QZ-2 型）则 $d=1.77$ mm，$S_e=260.57$ mm^2，$Z_1=22$，则

$$S_f=\frac{3\times 22\times 1.77^2}{260.37}\times 100\%=79.44\%。$$

〔1-31〕 无纬带如何进行绑扎和计算？

答：修理单位均采用无纬带代替用钢丝绑扎绕组的方式，因为用无纬带绑扎有以下好处。

（1）取消绕组端部间的绝缘衬垫和金属扣片。

（2）工艺简单，绕制方便。

（3）绕组端部无漏磁发热等问题。

（4）改善电磁性能。

（5）发生端部绕组甩开口，不会刮破定子绕组绝缘。

（6）不用焊接，节省贵重焊剂和金属。

常用绑扎带的性能及工艺参数如表1-27所示。

无纬带一般厚度为0.17mm，宽度有 15 或 25mm。无纬带而

表1-27　常用无纬带的性能及工艺参数

名　　称		聚酯型	环氧型	聚芳烷基醚酚型	聚胺-酰亚胺型
胶含量(%)		27±3	25±2	27±3	30±3
其中可溶性树脂占总胶量(%)		97	93	—	—
环抗拉强度 (MN/m²)	常态	800～1100	900～1240	—	>600
	热态	保留60%～65% (130℃)	保留60%～65% (130℃)	>600 (180℃)	>500 (180℃)
挥发物(%)		3±0.5	3±0.5	—	—
耐热等级		B	F	H	H
贮存期(月) (5℃)		3 —	— 1	3 —	1 —
工件预热温度 (℃)		80～100	80～100	—	80～100
固化温度(℃) /时间(h)		(1)80～90/2 (2)110～120/2 (3)130～140/ 17～20	(1)80～90/2 (2)110～120/2 (3)130～155/ 17～20	(1)80～90/2 (2)140/2 (3)160/2 (4)180/15～16	(1)80/2 (2)100～120/ (3)160/2 (4)180/2 (5)200/2

数W_2计算公式为

$$W_2=0.89\frac{GD(n_{max}/1000)^2}{1000\sigma_1 bh}$$

式中　D——转子绕组端部平均外径（m）

G——绑扎部位转子绕组的质量（kg）

n_{max}——转子最高转速（r/min）

σ_1——无纬带许用应力，一般取200MPa

b——无纬带宽度（m）

h——无纬带厚度（m）

用无纬带代替钢丝绑扎时，无纬带的匝数计算公式为

$$W_2=\frac{\sigma\pi d^2}{4\sigma_1 bh}W_1$$

式中　σ——钢丝许用应力，一般取 300MPa

d——钢丝直径（m）

W_1——原钢丝绑扎匝数

当通常用厚 0.17 m m、宽 25 m m的无纬带代替钢丝绑扎时，上式可简化为

$$W_2 = KW_1$$

式中　K——换算系数，可查表1-28。

表1-28　换算系数K值表

钢丝直径d（mm）	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
换算系数K	0.18	0.28	0.40	0.62	1.10	1.60	2.30

用无纬带绑扎前，要对转子端部绕组进行整形，使绕组服贴于转子支架上。必要时，采用钢圈或钢带将绕组端部箍紧，在预绑扎箍紧情况下进行热烘和干燥定型。预热温度可控制在80～100℃，中小型电动机预热2 h 左右，较大电动机预热 4 h 左右。预热后，转子可吊放在转子绑扎带机上。

将所需的无纬带盘安装在无纬带绑扎带机上。将无纬带头拉出，通过如图1-28所示的摩擦轮 2 及过轮固定在转子端部 5 上。调节好拉力后，就可转车绑扎。无纬带拉力约为350～400N。绑扎时，不可使无纬带交叉，可采用分段绑扎，最后一层要填平整个

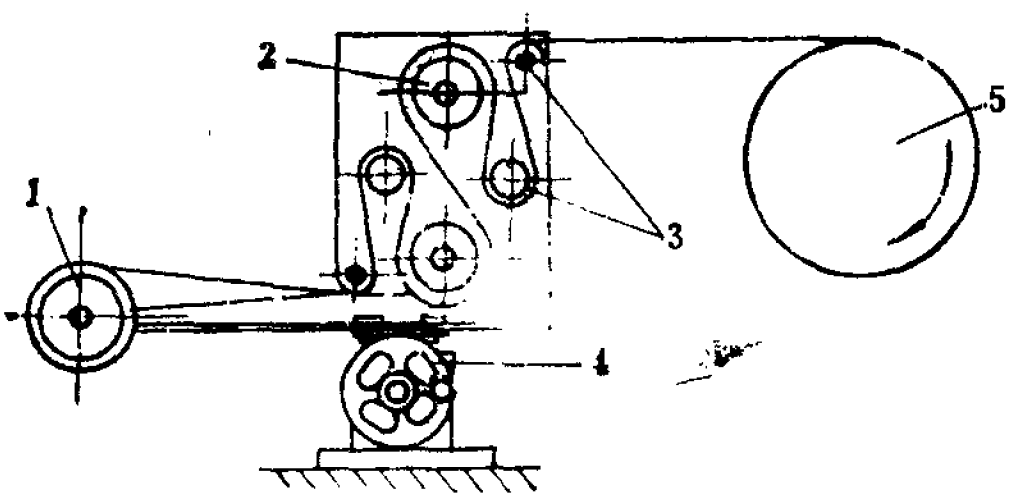


图1-28　无纬带绑扎示意图

1—无纬带盘　2—摩擦轮　3—导轮　4—走刀架　5—转子端部

表面。对于大型转子，为了节省时间可在两端分别各用一具绑扎无纬带的摩擦卡盘，同时进行绑扎。绑扎足够尺寸后，吊入烘炉加热固化。固化时间和温度可按表1-27选用。

〔1-32〕 如何选择高压电动机防晕措施？

答：高压电动机额定电压在 10kV 及以上或处于高原地带的 6kV 电动机，如果不做防电晕处理，线圈在电场作用下会击穿周围空气使游离放电，产生电晕现象。电晕对电动机绝缘起腐蚀作用并加速老化。表现在局部温度增高，空气游离产生臭氧和氮的氧化物与水作用，形成酸性物质，腐蚀绝缘。另外放电时，产生的带电粒子碰撞使绝缘层机械强度降低。

电动机最易产生电晕的部位是电场分布不均匀和偏高的地方，如槽口、通风沟、线圈表面与铁槽间隙、线圈之间隙、线圈与端箍之间等处最易产生电晕现象。因此，防晕的目的是均匀电场和改善防晕层表面介质状况，以提高线圈起始电晕电压值，也叫起晕电压值。起晕电压值还与海拔高度和潮湿环境有关。可以认为海拔每升高100m，起晕电压降低1%；湿度每增加10%，起晕电压下降10%。要求起晕电压值大于或等于1.5倍额定压电。

在特殊环境中，有时3kV电动机也要求做防晕处理。

当前防晕结构和工艺是采用先进的涂敷型工艺，特点是防晕层薄，附着力强，耐电晕性能好，操作方便。

电动机修理时做防晕措施有以下几种情况。

（1）对于6kV电动机，可防晕可不防晕情况下，如果用户要求做防晕处理，电动机是使用在海拔1000m以下普通场所，则采取涂刷办法，即将线圈表面砂毛，直接采用环氧型的低电阻防晕漆涂刷1～2次晾干即可。线圈端部涂刷高电阻漆1～2次，低电阻漆与高电阻漆之间自动形成中电阻漆。

低电阻漆刷线圈直线部分，两端各长出铁心50mm（见图1-29），而高电阻漆刷在线圈转弯处，与50mm重叠25mm，再伸向端部100mm左右长度，25mm处为中阻区。低电阻指电阻为10s～$10^8\Omega$，中电阻指电阻为10^7～$10^8\Omega$，高电阻指电阻为10^{10}～$10^{12}\Omega$。

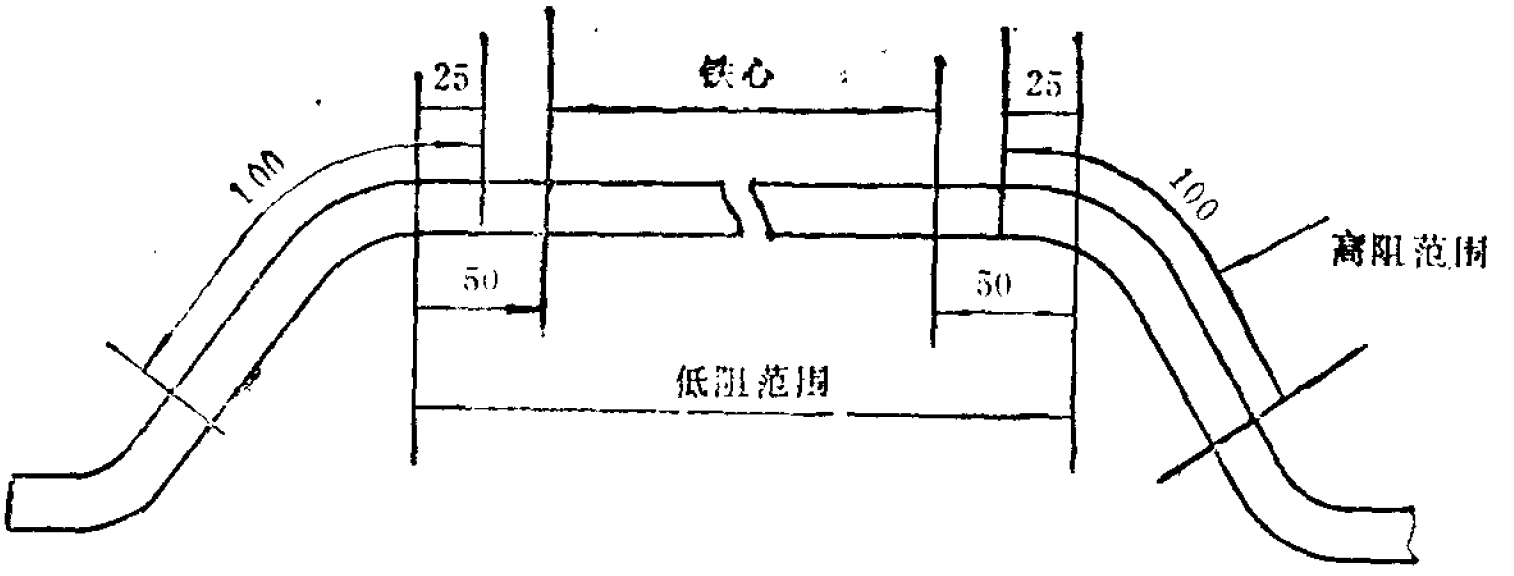


图1-29　涂防晕漆范围

（2）线圈采用热压工艺时，电晕层处理方法：当线圈包扎云母带之后，再在外表面半叠包一层0.15mm×25mm低电阻防电晕玻璃丝带，然后和主绝缘一起模压成型，而端部是把线圈表面砂毛，涂刷高电阻防晕漆，漆未干前再平包一层0.1mm×25mm的无碱玻璃丝带，最后再涂两层高电阻防晕漆。无碱玻璃丝带要经过200℃加热3～4 h的脱蜡处理。

半导体电晕漆是环氧酯体系，低电阻漆有134B级和140F级两种(西安绝缘材料厂)，或者采用萧山绝缘材料厂生产的X871-1型低电阻漆，使用时加入3%干燥剂即可。高电阻漆有135B级和141F级两种。

半导体电晕玻璃带是以0.06mm玻璃丝带为基础涂刷防电晕漆的薄型防晕带，包扎线圈后单边防晕层厚度仅0.15～0.2mm，质量较好，防晕层较薄（以前是0.6mm），表面电阻稳定，不需在低温下贮存，包扎时也不抽丝。

〔1-33〕 高压电动机线圈匝间绝缘承受试验电压值如何确定？

答：由于高压电动机额定电压不同和每个线圈的匝数不同，所以每匝所承受的电压也不一样，另外电源如果是晶闸管供电时，每相绕组的匝间电压分布不同（首尾匝电压很高）。因此，要根据具体情况选择匝间绝缘结构。修理高压线圈时，可按原始记录进行，但对于提高质量或改变绕组型式等，可参考表1-29所示选择。

表1-29 匝间绝缘结构

序号	匝间绝缘结构	每匝承受的试验电压(V)
1	双玻璃丝包扁铜线	300～400
2	双玻璃丝漆包扁铜线	400～500
3	双玻璃丝包扁铜线加垫0.14mm厚一层	500～600
4	双玻漆包扁铜线加垫0.14mm厚一层	600～800
5	单薄膜绕包双玻或单玻扁铜线	1000～1500
6	双薄膜绕包双玻扁铜线或单玻扁铜线	1600～2100
7	双玻璃丝包线再半叠包三合一粉云母带一层	1600～2400
8	双玻璃丝漆包扁铜线再半叠包三合一粉云母带一层	2400～3000
9	双玻璃丝包线半叠包二层三合一粉云母带	2500～3500
10	双玻璃丝漆包或单玻璃丝漆包线再半叠包二层云母带	3500～4500
11	单层云母带包双玻璃丝扁铜线	10000(新开发产品)

新的匝间绝缘试验标准（JB/E293-87）比旧标准高出两倍左右。

在选择匝间绝缘结构时，是根据操作过电压和大气过电压来考虑的，不能根据电动机运行电压来考虑，因为前者电压比后者大10倍以上。对于10kV电动机的匝间绝缘，多半是在电磁线外边再半叠包1～2层云母带，要求这个云母带的机械强度高，因为许多高压电动机多半是因为匝间绝缘机械强度不好而引起绕组故障。以往用普通云母带做为匝间绝缘，当线圈张形、整形、热压、嵌线等工序操作时，均会造成匝间绝缘破损或当时未表现出来，给电动机运行时造成隐患。建议匝间绝缘采用三合一粉云母带包扎，这种云母带有一层聚酯薄膜，所以机械强度高，包扎时要使这层薄膜包在外面，使线匝外表面有一层机械强度高，又光滑的表面，当线圈张形时，各匝间要产生移动，由于光滑表面摩擦力小，强度又高，所以保证匝间绝缘不受损伤，从而保证线圈

匝间绝缘的制造质量。

〔1-34〕 高压电动机主绝缘单边厚度如何确定？

答：由于高压线圈的绝缘处理方式不同，线圈主绝缘的单边厚度也不同。随着我国绝缘技术和绝缘处理水平的提高，线圈主绝缘单边厚度逐渐减薄，从而提高电动机散热能力，节省贵重的绝缘材料，缩小电动机体积，降低电动机制造成本。

高压电动机线圈单边绝缘厚度δ可按下式估算出来。

$$\delta \geqslant C_K \frac{U_N}{E} \quad (mm)$$

式中 δ——线圈绝缘单边厚度（mm）

U_N——电动机额定电压（kV）

E——绝缘结构的原始击穿场强（kV/mm），一般是23～30kV/mm。

C_K——储备系数7～9范围内

取C_K平均值为8，则可计算出绝缘厚度范围：

$$3\,kV:\ \delta \geqslant 8 \times \frac{3}{23\sim30} = 1.04\sim0.8\ (mm)$$

$$6\,kV:\ \delta \geqslant 8 \times \frac{6}{23\sim30} = 2.09\sim1.6\ (mm)$$

$$10kV:\ \delta \geqslant 8 \times \frac{10}{23\sim30} = 3.48\sim2.67\ (mm)$$

国外电动机主绝缘较薄，比如按阿尔斯通公司计算公式：

$$\delta \geqslant 0.22(U_N + 1)$$

计算得出：

3 kV：$\delta \geqslant 0.22(3+1) = 0.88$ (mm)

6 kV：$\delta \geqslant 0.22(6+1) = 1.54$ (mm)

10kV：$\delta \geqslant 0.22(10+1) = 2.42$ (mm)

对于修理单位，如采取模压方式修理高压电动机线圈，单边绝缘厚度建议选下面数值。

3 kV：1.2～1.4 mm

6 kV：1.8～2.2mm

10kV：2.6～2.8mm

修理国外高压电动机统计其绝缘单边厚度范围如下。

3 kV：0.8～0.9mm

6 kV：1.5～1.6mm（滚包时1.3～1.4mm）

10kV：2.0～2.4mm

以上单边绝缘厚度是从电磁线绝缘的外层计算的，不包括电磁线本身绝缘厚度。如果电动机修理条件较差，可按具体条件、槽形尺寸等参考，从上面给出的绝缘厚范围进行选择。

〔1-35〕 电动机修理时，如何选择浸渍绝缘漆？

答：电动机绝缘浸渍漆分为有溶剂漆和无溶剂漆两大类。常用的电动机浸渍漆和覆盖漆品种、特性及用途如表1-30所示。

表1-30 常用的电动机绝缘漆品种、特性及用途

名称	型号	耐热等级	特性及用途
油改性酚醛漆	1030	B	耐油性和弹性好。供浸渍在油中工作的线圈和绝缘零部件
丁基酚醛醇磷漆	1031	B	耐潮性、内干性较好，机械强度较高 供浸渍线圈，可用湿热地区
三聚氰胺醇酸漆	1032	B	耐潮性、耐油性、内干性较好、机械强度较高，且耐电弧。供浸渍在湿热地区使用的线圈
环氧酯漆	1033	B	耐潮性、耐油性、内干性较好，机械强度较高，且耐电弧，供浸渍在湿热地区使用的线圈
环氧醇酸漆	H30-6	B	耐热性、耐潮性较好。机械强度高，粘结力强，可供浸渍用于湿热地区的线圈
环氧无溶剂漆	110	B	粘度低、击穿强度高、贮存稳定性好。可用于沉浸小型低压电动机、电器线圈
环氧无溶剂漆	111	B	粘度低、固化快、击穿强度高。可用于滴浸小型低压电动机、电器线圈

续表

名　　称	型号	耐热等级	特　性　及　用　途
环氧无溶剂漆	9101	B	粘度低、固化较快、体积电阻高、贮存稳定性好。可用于整浸中型高压电动机、电器线圈
聚酯浸渍漆	Z30-2	F	耐热性、电气性能较好，粘结力强。供浸渍F级电动机、电器线圈
不饱和聚酯无溶剂漆	319-2	F	粘度较低、电气性能较好、贮存稳定性好。可用于沉渍小型F级电动机、电器线圈
有机硅浸渍漆	1053	H	耐热性和电气性能好、但烘干温度较高。供浸渍H级电动机、电器线圈和绝缘零部件
聚酯改性有机硅漆	W30-P	H	粘结力较强、耐潮性及电气性能好、烘干温度较1053低，用途同1053漆
聚酰胺酰亚胺浸渍漆	PAI-2	H	耐热性优于有机硅漆、电气性能优良、粘结力强。供浸渍耐高温或在特殊条件下工作的电动机、电器线圈
晾干醇酸灰瓷漆	1321	B	晾干或低温干燥，漆膜硬度较高、耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电动机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰
醇酸灰瓷漆	1320	B	烘焙干燥，漆膜坚硬、机械强度高、耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电动机、电器线圈
环氧脂灰瓷漆	163	B	烘焙干燥，漆膜硬度大、耐潮、耐霉、耐油性好。用于覆盖电动机、电器线圈，可用于湿热地区
晾干环氧脂灰瓷漆	164	B	晾干或低温干燥，漆膜坚硬、耐潮、耐霉、耐油性好。用于覆盖电动机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰，可用于湿热地区
晾干有机硅红瓷漆	167	H	晾干或低温干燥，漆膜耐热性高，电气性能好。用于覆盖耐高温电动机、电器线圈或绝缘零部件表面修饰
有机硅红瓷漆	1350	H	烘焙干燥，漆膜耐热性、电气性能比167好，且硬度大、耐油。用途同167漆

续表

名　　称	型号	耐热等级	特　性　及　用　途
油性硅钢片漆	1611	A	在高温(400～500℃)下干燥快，漆膜厚度均匀，坚硬、耐油。供涂覆一般小型电动机、电器用硅钢片
醇酸硅钢片漆	9161	B	在300～350℃下干燥快，漆膜有较好的耐热性和耐电弧性、供涂覆一般电动机、电器用硅钢片，但不宜涂覆磷酸盐处理的硅钢片
环氧酚醛硅钢片漆	114	F	附着力强，在200～350℃下干燥快，漆膜有较好的耐热性、耐潮性、耐腐蚀性和电气性能，供涂覆大型电动机、电器用硅钢片，且适宜涂覆磷酸盐处理的硅钢片和其他硅钢片
有机硅钢片漆	W35-1	H	漆膜耐热性和电气性能优良。供涂覆高温电动机、电器用硅钢片，但不宜涂覆磷酸盐处理的硅钢片
聚酰胺酰亚胺硅钢片漆	PAI-Q	H	漆的涂覆工艺性和干燥性好，漆膜附着力强、耐热性高、耐溶剂性优越。供涂覆高温电动机、电器用的各种硅钢片

当前电动机修理单位普遍使用1032绝缘漆，这是B级绝缘的有溶剂绝缘漆，这种漆价格便宜，贮存时间长，绝缘处理设备也简单，其绝缘性能可满足一般用途电动机需要，所以修理单位一直采用。但这种绝缘漆的缺点是干燥时间太长（约 22 h），在烘干过程中严重浪费工时和能源，有50%的溶剂要挥发掉（只起稀释漆粘度作用），并且污染环境，影响操作者健康。为此当前研制出代替1032绝缘漆的两个方案：①少溶剂环氧浸渍绝缘漆，型号有H30-9、WSK胶、S-1040。②快干型1032绝缘漆，即 1038 绝缘漆。

H30-9和S-1039绝缘漆在140℃温度下漆膜固化能力为 5 h。1032绝缘漆在120℃温度下为16 h，1038绝缘漆在120℃温度下为

8 h，可见电动机绝缘处理时间1038漆仅为1032的一半，从而提高了生产率，缩短检修周期。H30-9、WSK和S-1039绝缘漆仅5 h，比1038漆的烘干时间还短3 h，其他性能指标相当。

表1-31给出这几种绝缘漆具体烘干时间的实例。

表1-31 Y180三相异步电动机浸烘时间比较

绝缘漆种类和浸渍次数		1032绝缘漆（浸二次）	1038绝缘漆（浸二次）	H30-9或S-1039绝缘漆（浸一次）	WSK少溶剂快干胶
第一次浸漆烘干(h)	70～120°C	4	3	3	1
	130°C	4	3	8	4
第二次浸漆烘干(h)	70～120°C	4	3	—	—
	130°C	10	4	—	—
烘干所需总时间(h)		22	13	11	5
电动机温升(K)		55～56	54～55	50～52	54
电动机试验		合格	合格	合格	合 格

为什么代替漆具有烘干时间短的优点呢？这是因为1032绝缘漆在烘干时的第一阶段，绝缘漆中的溶剂在低温下（70°C左右）就大量挥发，然后漆基才交联固化，在绝缘表面形成漆的薄膜，但这时处在绝缘漆膜里层的溶剂并没有全部挥发干净，残余的溶剂还要继续冲破漆膜跑出来，于是在固化的漆膜表面留下微孔。因此必需进行第二次浸漆，把这些微孔堵上，用粘度较高的第二次漆将第一次浸烘后留下的微孔封闭时，还是有一些残余小微孔，所以对于运行在潮湿恶劣环境的电动机，还要浸第三次漆。另外，1032漆在第二阶段烘干过程中，需要大量氧气渗入漆内进行聚合反应，从而形成坚硬的漆膜。因此，在烘干时总要放入新鲜空气于炉内。而H30-9或S-1039绝缘漆是由环氧树脂和桐油酸酐各35%，再加入30%的酒精和甲苯按2:1混合溶剂配制而成，固体

含量高于70%，（而1032绝缘漆的固体含量为50%左右），固化时不需要氧气参加反应，在漆膜形成之前溶剂就已挥发彻底，因此不易产生微孔，所以这种漆只浸渍一次即可达到要求。当前小容量电动机广泛应用这种绝缘漆代替1032漆。

1038绝缘漆是调整了1032绝缘漆中的醇酸组分和胺基树脂反应程度，并加入催化剂制成的，所以提高了固化速度，使烘干时间缩短50%左右，但由于这种漆仍是有溶剂漆，也需要氧气参加进行聚合反应形成漆膜，也有微孔存在，所以也像1032绝缘漆一样要浸二次漆或以上。

由于快干漆和1038绝缘漆烘干时间大大缩短，所以，以往采用判断烘干终了的办法不再适用，如1032漆是烘干时间达到工艺规程规定，并且绝缘电阻稳定在6～8 h不变时认为烘干终了，而现在应改为稳定2～3 h绝缘电阻为合格。

〔1-36〕 F级电动机选用少溶剂1040绝缘漆有哪些好处？

答：当前修理单位在修理F级电动机，常选用9115、9105等有溶剂绝缘漆。由于这种漆含有溶剂，所以必须浸两遍漆，而1040漆是少溶剂，只浸一遍即可，很适于应急修理使用。此漆与9115漆相比有以下特点。

（1）漆固化速度较快、流失少、挂漆量大，从而降低工人劳动强度，提高生产率；减少吊装次数，降低电动机碰碰机会。

（2）粘度低、固体含量高、浸透性好。

（3）含溶剂少、无毒，减轻工作环境污染。

（4）粘结强度适宜，不像无溶剂漆那样使修理电动机时拆线圈难。

（5）漆贮存稳定性好。

（6）与无纬带相溶性好。

（7）价格便宜（19元/kg）。

（8）B级和F级通用，减少浸渍漆种类，可方便生产管理。

电动机浸漆工艺见表1-32。

漆粘度29s（20℃），调节时用二甲苯：乙醇＝1：1混合剂进

行调节。

表1-32　1040绝缘漆漫漆工艺

序号	工　序	工作温度(℃)	时间(h)	备　注
1	预热	140	2	绝缘电阻500MΩ
2	浸漆	50	20～30min	可浇浸
3	滴漆	室　温	30min	
4	烘干	80	1	定子300MΩ
		140	7	转子400MΩ

1040漆的温度指标为165℃，此绝缘漆的技术指标如表 1-33 所示。

表1-33　1040绝缘漆技术指标

序　号	指　标　名　称	指　　标
1	外　　观	透明液体、无机械杂质
2	粘度(4号粘度计，23± 1 ℃)	20～40s
3	固体含量(140± 2℃，2h)	70± 2 %
4	漆膜干燥时间(140± 2 ℃)	＜1 h
5	厚层固化能力(45×45×15铅盒 140℃，15g漆，3h)	表面平整光滑，底面不粘手基本无气泡
6	热弹性(180± 2 ℃)	＞48h
7	工频电场强度(常态) (在23± 2 ℃水中浸24h)	＞80MV/m ＞50MV/m
8	电阻率(常态) (23± 2 ℃水中浸24h) (155± 2℃，2h)	＞1 ×10^{13}Ω·m ＞1 ×10^{13}Ω·m ＞1 ×10^{8}Ω·m

〔1-37〕　1032绝缘漆的粘度与温度如何进行换算？

答：重绕线圈浸渍时，要求绝缘漆具有一定粘度，比如Y系列、JO 2 系列电动机，一般要求浸两遍漆，而每次绝缘漆的粘度是

不同的，第一次浸渍时，绝缘漆粘度为20～26 s，第二次浸渍时，要求绝缘漆粘度为30～38 s。这是因为第一次浸渍目的是使漆渗透到绝缘缝隙和毛细管内，用漆填充所有绝缘空间，使线圈导线与绝缘材料形成一个整体，而第二次浸渍目的是在线圈绝缘表面形成坚固的漆膜，并且将第一次浸渍烘干时形成的微小气孔填满，最后达到一个坚硬的线圈整体。因此要求第一次漆要稀些，第二次漆要稠些。漆的稀稠可用甲苯或二甲苯调节。

上面规定的漆粘度是指20℃条件下测量的，因为漆的粘度随温度升高而降低，另外是用 4 号福特杯测量的。将绝缘漆放入一定容积的 4 号福特杯内，控制到20℃，然后开始计时并同时打开杯底部的小孔，绝缘漆靠自重便从小孔流出，漆越稠流下的越慢，反之越快，所以用秒表计时间多少，用 s 来表示绝缘漆的粘度。

对于修理单位把绝缘漆的温度控制或调节20℃是很困难，有的师傅凭经验断定漆的粘度也是不准确的，所以，影响浸渍质量。因此，希望有绝缘漆的粘度与温度之间的换算方法。

表1-34给出1032绝缘漆的粘度与温度的对照表。

表1-34　1032漆粘度、温度对照表

温度(℃)	粘度(s)		温度(℃)	粘度(s)		温度(℃)	粘度(s)		温度(℃)	粘度(s)	
	s_1	s_2		s_1	s_2		s_1	s_2		s_1	s_2
40	16	19.5	30	17.6	24	20	20	30	10	27	43.5
39	16	20	29	17.8	24.8	19	21	32.5	9	28	45.5
38	16	20.4	28	18	25.5	18	21.5	34	8	28.5	47
37	16	20.8	27	18	26	17	22	35	7	30	50.5
36	16.2	21	26	18.2	27	16	22.5	35.5	6	32	52
35	16.2	21.5	25	18 4	27.5	15	24	36.5	5	33	53.5
34	16.5	22	24	18.7	28	14	24.5	37.5	4	33.5	55
33	17	22.5	23	19	28.5	13	25	39.5	3	34.5	58
32	17.2	23	22	19.4	29	12	25.5	40	2	35	60.5
31	17.4	23.5	21	19.8	29.5	11	26	42	1	36	62

从表1-34中看出，基准温度20℃时第一次浸漆的漆粘度s_1为20 s，第二次浸漆的漆粘度s_2为30 s。如果在贮存罐中的绝缘漆

的温度是室温 3 ℃，查表 1-34，$s_1=34.5$ s，$s_2=58$ s，所以绝缘漆不必再加热调节，直接放入 4 号福特杯中测量绝缘漆流完的时间，其测量得到的秒数，即为此绝缘漆的粘度；如果测量的粘度比表1-34中所给数值大，则要用甲苯或二甲苯稀释调节，然后再测量，一直达到表1-34中要求为止。

表1-34中给出20℃时$s_1=20$ s，$s_2=30$ s，事实上浸渍工艺要求第一次浸渍粘度范围是20～26 s，第二次浸渍粘度范围是30～38 s。如果现在要求在20℃时$s_1=22$ s，$s_2=26$ s，又如何计算呢？见下面例 1 。

例1：如果要求绝缘漆在20℃时$s_1=22$ s，$s_2=26$ s，那末绝缘漆在14℃时，其相应的粘度s_1'和s_2'各是多少？

解：查表1-34知，14℃时 $s_1=24.5$ s，$s_2=37.5$ s，其粘度差$\Delta s'=37.5-24.5=13$（s）。

当14℃时，$s_1=22$s和$s_2=20$s之差为：

$$|20-22| = 2\ (s)$$

$s_1=22$ s 与$s_2=30$ s 之差为：

$$|30-22| = 8\ (s)$$

则 14℃时 $s_1'=s_1+\frac{2}{2+8}\times\Delta s'$

$$=24.5+\frac{2}{10}\times 13=27.1\ (s)$$

下面求第二次浸渍时绝缘漆于14℃时的粘度

$$|26-20| = 6\ (s)$$

$$|30-26| = 4\ (s)$$

所以$s_2'=s_2-\frac{4}{6+4}\times\Delta s'=37.5-\frac{4}{10}\times 13=32.3(s)$

按上面计算法可以得到以20℃，$s_1=22$s，$s_2=26$s 的绝缘漆粘度与温度对照表，如表1-35示。

例2：如果要求20℃时，$s_1=24$ s，$s_2=28$s，试求 20℃ 时和14℃时s_1'和s_2'各是多少？

表1-35　1032漆粘度、温度对照表

温度	粘度(s)		温度	粘度(s)		温度	粘度(s)		温度	粘度(s)	
(℃)	s_1	s_2	(℃)	s_1	s_2	(℃)	s_1	s_2	(℃)	s_1	s_2
40	16.7	18.1	30	18.9	21.4	20	22	26	10	30.3	36.9
39	16.8	18.4	29	19.2	22	19	23.3	27.9	9	31.5	38.5
38	16.9	18.6	28	19.5	22.5	18	24	29	8	32.2	39.6
37	17	18.9	27	19.6	22.8	17	24.6	29.8	7	34.1	42.3
36	17.2	19.1	26	20	23.5	16	25.1	30.3	6	36	44
35	17.3	19.4	25	20.2	23.9	15	26.5	31.5	5	37.1	45.3
34	17.6	19.8	24	20.6	24.3	14	27.1	32.3	4	37.8	46.4
33	18.1	20.3	23	20.9	24.7	13	27.9	33.7	3	39.2	48.6
32	18.4	20.7	22	21.3	25.2	12	28.4	34.2	2	40.1	50.3
31	18.6	21.1	21	21.7	25.6	11	29.2	35.6	1	41.2	51.6

解：查表1-34知，20℃时$s_1=20$s，$s_2=30$ s，$\Delta s=10$ s

（1）20℃时，$|20-24|=4$（s）

$|30-24|=6$（s）

则 $s_1'=s_1+\frac{4}{4+6}\times\Delta s=20+\frac{4}{10}\times10=24$（s）

$|20-28|=8$（s）

$|30-28|=2$（s）

则 $s_2'=s_2-\frac{2}{8+2}\times\Delta s=30-\frac{2}{10}\times10=28$（s）

（2）14℃时，查表1-34知$s_1=24.5$ s，$s_2=37.5$ s，则$\Delta s'=37.5-24.5=13$（s）

$|20-24|=4$（s）

$|30-24|=6$（s）

则 $s_1'=s_1+\frac{4}{4+6}\times13=24.5+5.2=29.7$（s）

又

$|20-28|=8$（s）

$|30-28|=2$（s）

则 $s_2'=s_2+\frac{2}{8+2}\times\Delta s=37.5+\frac{2}{10}\times13=34.9$（s）

可见以任何粘度做为20℃的基准粘度时，均可求出在各种温度下绝缘漆的相应粘度，这种计算方法在工程上应用是可行的。

第二章　绕组重绕技术问答

〔2-1〕　为什么拆旧线圈时不许用火烧和火碱水煮电动机？

答：认为旧绕组反正也不要了，于是采取“破坏性”的拆法，用火烧或用火碱水煮电动机，这对旧绕组绝缘确实起到破坏作用，便于拆除旧线圈，但由于旧线圈在铁心内，所以，对铁心也起到破坏作用。这样做对电动机会带来下列危害。

（1）用喷灯火焰（高达1000℃）烘烤线圈，使铁心冲片变形，甚至将铁心端部冲片烤红，使冲片表面涂漆炭化，形成导体，将所有受害冲片连成短路，在交变磁场作用下，在短路铁心中流过很大的涡流，使铁心严重发热。有的修理单位，为拆绕组方便，把木柴插入定子膛孔内烧线圈，这也会产生上述弊病。

（2）铁心受热局部变形，产生铁心扇张现象，造成电动机运行时的噪声源。

（3）由于定子和机座受热不均，也会产生变形，破坏机座两端止口的同心度，装配端盖之后，由于两端端盖中心线不重合，会引起电动机气隙不均、轴承内外圈不平行，电动机运行后会产生轴承发热和定、转子铁心相擦事故。

（4）由于定子铁心或转子铁心局部过热变形，造成气隙不均，将引起电动机运行时产生振动，同时附加损耗和机械损耗均增加，电动机效率降低。

（5）火碱水会腐蚀铁心冲片表面绝缘，所以也产生同火烧电动机同样的危害。

（6）由于铁心损耗的增加，空载损耗和空载电流要增加，同时杂耗也增加，所以修理后的电动机温升要增加。对于1～4号机座的JO2系列三相异步电动机，空载电流平均增加18.5%（2极）、6%（4极）、4.5%（6极）。

因此，要求操作者要采用合理的拆除绕组工艺进行拆除。

〔2-2〕 小型交流电动机怎样快速拆除定子旧线圈？

答：小型电动机定子绕组有单层也有双层的，本文介绍双层绕组的拆除方法，掌握后对于单层绕组的拆除也就迎刃而解了。

首先选择定子绕组的非接线端，用磨出刃口的扁錾对齐槽口，将非接线端的上层绕组端部剁掉，一定要对齐槽口，否则不易退出槽中线圈。逐槽剁掉上层线圈端部后，将此端部线圈拉直，露出这端的下层线圈端部，然后用比槽形稍小的钢棍将留在槽内的上层线圈向连接线端打出，逐槽打出后，将非接线端下层线圈端部与铁心之间垫入金属垫板，再用扁錾把下层线圈端部对齐槽口逐槽剁掉，这时非连接线端的上下层线圈端部全部拆除。再用小钢混逐槽打出槽内下层线圈，全部打出后，连接线端的所有线圈也都拆除干净。然后打出槽楔，清理槽内绝缘。

如果拆除较困难，也可将线圈加热 180～200℃，先剔出槽楔，然后按上述方法拆除。此方法仅限于小型电动机，因稍大型电动机槽内粘结较牢，用小钢棍不易打出线圈。

〔2-3〕 浸渍环氧树脂的电动机旧绕组如何拆除？

答：上面介绍的快速拆除定子绕组的实质是整断法，对于浸渍热塑性绝缘漆（如1032绝缘漆）也是有效的，因为热塑性绝缘漆的热态机械强度很差，电动机经运行后，绝缘漆经热态老化，机械强度下降，在拆除时再辅以加热采取上述方法是可以的。而环氧树脂是属于热固性绝缘漆，粘结力很强，虽然加热超过150℃也能软化，但不像热塑性绝缘漆那样松软，一旦冷却，便又恢复原来坚硬如骨的状态，所以给拆除旧绕组工作造成很大的困难。为了拆除这种绕组，需采取下述办法。

（1）采用圆盘铣刀将带有连接线一端的端部绕组对齐槽口铣掉，然后再将另一端绕组端部用喷灯加热（注意：只能加热绕组），将这端的端部绕组绝缘和绝缘漆烤焦，使线圈各匝之间松软，便于切断，用拔线机或小电葫芦逐槽将槽内线圈拔出来。

（2）如果不具备电动铣刀，可用喷灯按上述办法将线圈两端

都加热烤焦，将非连接线端的端部线圈剪断理直，再从另一端拔出槽内线圈。

采用喷灯加热的好处：随拆随加热。如果电动机放入烘炉内加热时，拆不到几个线圈，由于散热冷却，环氧树脂绝缘漆变硬，还要将电动机入炉加热，非常麻烦。采用喷灯加热绕组端部时，一定要防止火燃烘烤铁心。

在拔槽内导线时，要求拔线机或电葫芦的拉力方向与被拆线圈轴向平行，否则会使槽内线圈卡住或者可能将铁心端部槽齿刮伤。

全部线圈拆除后，趁热将槽内绝缘清理干净。

〔2-4〕 切除旧线圈端部的装置如何制做？

答：上面介绍切除旧线圈端部可用铣刀切除，制做这套装置的要点如下。

（1）为了带动铣刀旋转工作，必需选一台电动机（3kW 4极）与铣刀连结。电动机轴端用联轴器与铣刀的刀杆连结好。

（2）刀杆上固定一把铣刀，铣刀厚度选2～4mm，直径大小视电动机内腔尺寸而定，一般可选用ϕ100～200mm，铣刀齿数为40～60个，视圆盘铣刀直径而定。

（3）电动机定子可立放，即电动机轴线与平台垂直，带动铣刀的电动机也立放在被铣电动机上面，固定在某一固定板上。为了让铣刀垂直进入被铣电动机内部铣切端部绕组，所以要求刀杆能够垂直上下移动，以调节铣刀与槽口对齐。

（4）为了铣刀切铣端部绕组，铣刀除能伸入定子内膛之外，还要向端部绕组深处吃刀，所以要使铣刀沿电动机内腔做圆周转动。

（5）刀杆垂直运动可靠丝杠完成，铣刀圆周转动可采取水平丝杠送进，同时使被旋铣的电动机旋转起来，这样达到了铣端部绕组的目的。

〔2-5〕 拆除旧绕组时要考虑哪些技术问题？

答：视电动机结构、容量大小、浸渍情况和旧铜线是否复用

来选择拆除旧绕组的方法。

为了便于拆除旧绕组，要使绕组加热软化。加热方法有：（1）绕组内通入2倍到3倍的额定电流加热绕组绝缘；（2）电动机放入烘炉内加热；（3）采用氧乙炔火燃或喷灯加热；（4）利用现场的热源加热等等。

往旧绕组内通入低电压大电流加热的优点：加热均匀，热源是靠铜耗产生，直接烘烤导线绝缘，因此节省电能，同时也节省操作时间，但采用此法前，一定判别绕组是否有短路、接地等故障，否则在很强的电流作用下，电动机故障绕组会局部过热、冒烟，甚至“放炮”。对于水淹的电动机不可采用。加热电源可利用现场的现有条件，比如利用电焊机的二次大电流，或三相380V调压器等。为了调节电流大小，还可采取下面措施。

（1）电动机的绕组并联改串联，可增加匝数，能承受较高电压。

（2）两台或三台相同的电动机绕组串联，可增加匝数，每台电动机承受电压成倍降低。

（3）控制电焊机或调压器的电压。

（4）间断拉、合闸等。

如果修理单位具备烤箱或烘炉，将电动机放在其中加热较好，电动机受热均匀。由于电动机整体加热，当电动机吊出烘炉拆线时，绕组温度得到铁心保护不会很快地冷下来。烘炉温度应控制在200℃左右，最好炉温可调。放入转子时，要注意轴承和集电环（对于绕线转子），轴承在200℃下加热是不允许的（一般控制在120℃以内，以前是控制在100℃），超过控制温度轴承退火，影响轴承硬度，运行时容易磨损。解决办法是把轴承拆下来，但对于需要更换新轴承的电动机，轴承就不必拆下来了。集电环的滑环与转轴之间有绝缘套，这部分不允许加热200℃，否则绝缘加速老化，但卸下集电环也是麻烦的，烘炉温度被迫要降下来，以集电环允许的温度做为加热绕组的温度。

采取喷灯或氧乙炔火燃加热时，要特别注意火燃的方向，不

可朝铁心方向加热，以防将铁心烤变形和烤焦冲片绝缘，同时要将轴承和集电环挡上，火燃不可影响这些部件质量。对于铁心部分，为了加热槽内线圈，因线圈在槽内，加热是通过铁心传到槽内导线绝缘，因此，要控制火燃温度和均匀性，可采用薄铁板（2～3mm）将转子铁心圈起来，准备几把喷灯或氧乙炔火焰均匀烘烤外圈铁板，使铁板的热量传递给铁心和绕组，这样做可使转子铁心受热均匀，温度应控制在200°C以内。

利用工厂现有设备或余热加热电动机绕组更方便，比如利用盐浴炉、锻造炉、冶炼炉等余热加热电动机。

为了解决轴承和集电环与转子一起加热受影响的问题，可考虑做一个专用烤箱，使转子两端轴承和集电环露在烤箱外边，不在加热区内，这样就可避免拆轴承和集电环问题。否则拆一次轴承，轴承质量就受损一次；集电环本来是不用修理的，但由于怕受热才要拆下来的，拆下来再装配上就等于重换绝缘再修理一次。采用专用烤箱时，应设计出轴向长度可调性，这样可适用于各种轴长的转子。

电动机绕组加热后拔线时，要注意以下事项。

（1）拔线方向一定要顺铁槽轴向方向，不可有角度，否则易把铁心端齿刮变形，产生扇张现象，也有可能将线圈卡在槽内拔不出来。

（2）拔线用力要适当，不可太猛，防止“破坏性”的拆除法，否则铁心齿被刮伤、歪斜，甚至造成整个铁心槽歪倒。

（3）对于欲复用的扁铜线绕制的旧绕组拆除时，要防止拆除过程中使线圈变形过大，不可将铜线拉变形，截面积不可有变化，否则由于铜耗增加，电动机运行时发热。

（4）尽可能不采取冷拆办法。

（5）拆除旧绕组时要采用正确的方法和使用合理的工具，以免刮破铁心冲片，产生毛刺和将铁心刮伤。

（6）拆除线圈前和拆除过程中，要详细地做好原始记录，包括绕组绝缘材质、厚度、层数，以及绕组和铁心数据等。

〔2-6〕 怎样在拆线机上拆除旧线圈？

答： 拆线机如图 2-1 所示。首先把欲拆线的电动机吊放在拆线机的平台 9 上，用压板压住电动机底脚，使电动机在平台上固定可靠；然后调整轴向手轮使电动机绕组与切线圈的刀片14对好位置，开动电动机11进行切断旧线圈的端部。为了圆周切断线圈，需调节升降丝柄12和辐向手轮18，将端部线圈全部切断。

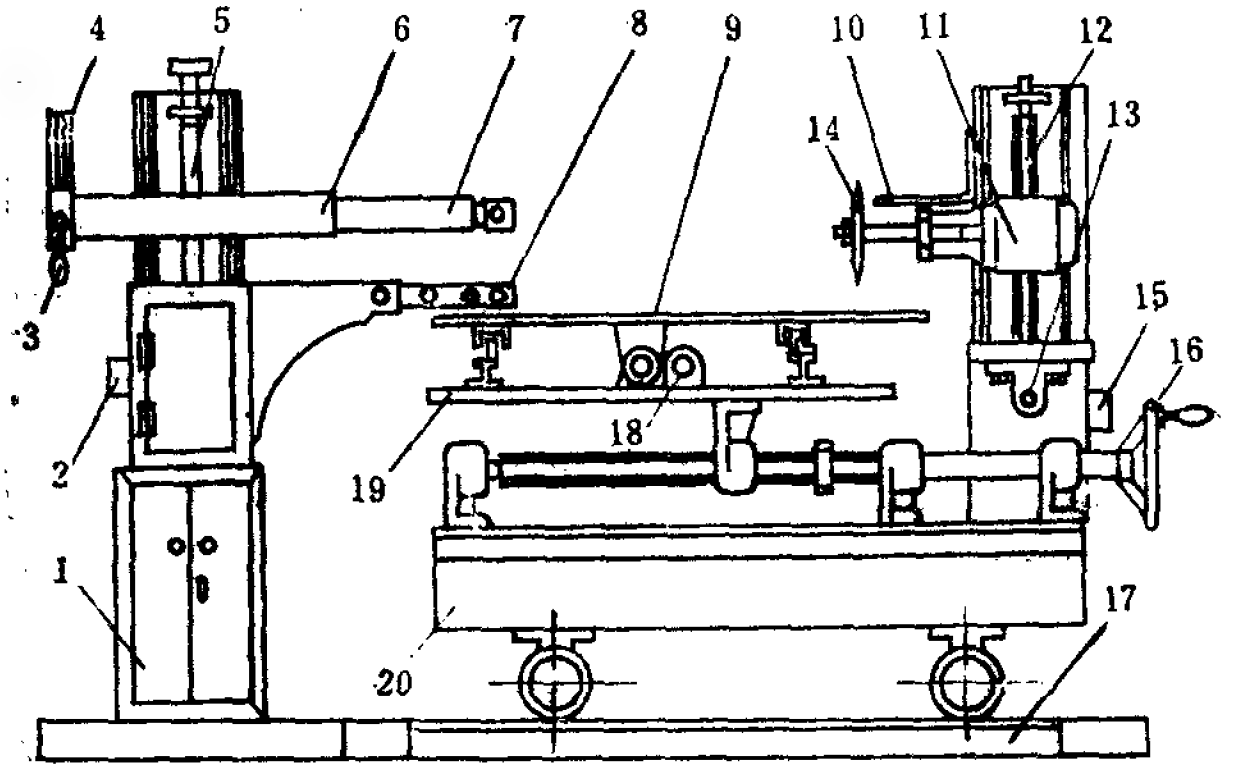


图2-1 拆线机示意图

1—配电箱 2—按钮 3—换向阀 4—高压胶管 5—油缸自动升降装置 6—油缸 7—活塞推杆 8—顶板 9—平台 10—冷却水管 11—电动机（3 kW，4 极） 12—升降丝杆 13—电动机升降手轮 14—切线刀片 15—按钮 16—轴向手轮 17—轨道 18—辐向手轮 19—辐向底盘 20—水箱

切断一侧绕组端部后，将电动机从拆线机上卸下来入炉预热，炉温200℃左右，时间 1 ～2h。出炉后，仍要装在拆线机平台上，趁热拔线。操动换向阀 3，使千斤顶的活塞推杆 7 往复运动。在活塞推杆头部穿入一根钢绳，其另一端穿入旧线圈端部内；然后用一根铁棍插入锁住，从而就可开始拔线。调节油缸的自动升降装置 5 和辐向手轮18，这样就可以在几分钟内将电动机全部线圈拔出。

刀片的尺寸和形状见图2-2所示。为了保护刀片，在切割时，要通冷水冷却刀片。刀片是采用经锻热处理后的 45 号钢板制成，拔线装置是由YQ-100A/900型液压千斤顶和高压齿轮泵组成，

高压齿轮泵的工作压力10MPa，排油量为45m³/min。

小型电动机定子线圈拆除时，可先将线圈的一端切断；然后用拔线机从切断线圈另一端拆出线圈。对于能利用的旧线圈，在拆除时不许剪断线圈和引接线头，可以在线圈中通入低压大电流加温，之后轻轻抬出线圈。

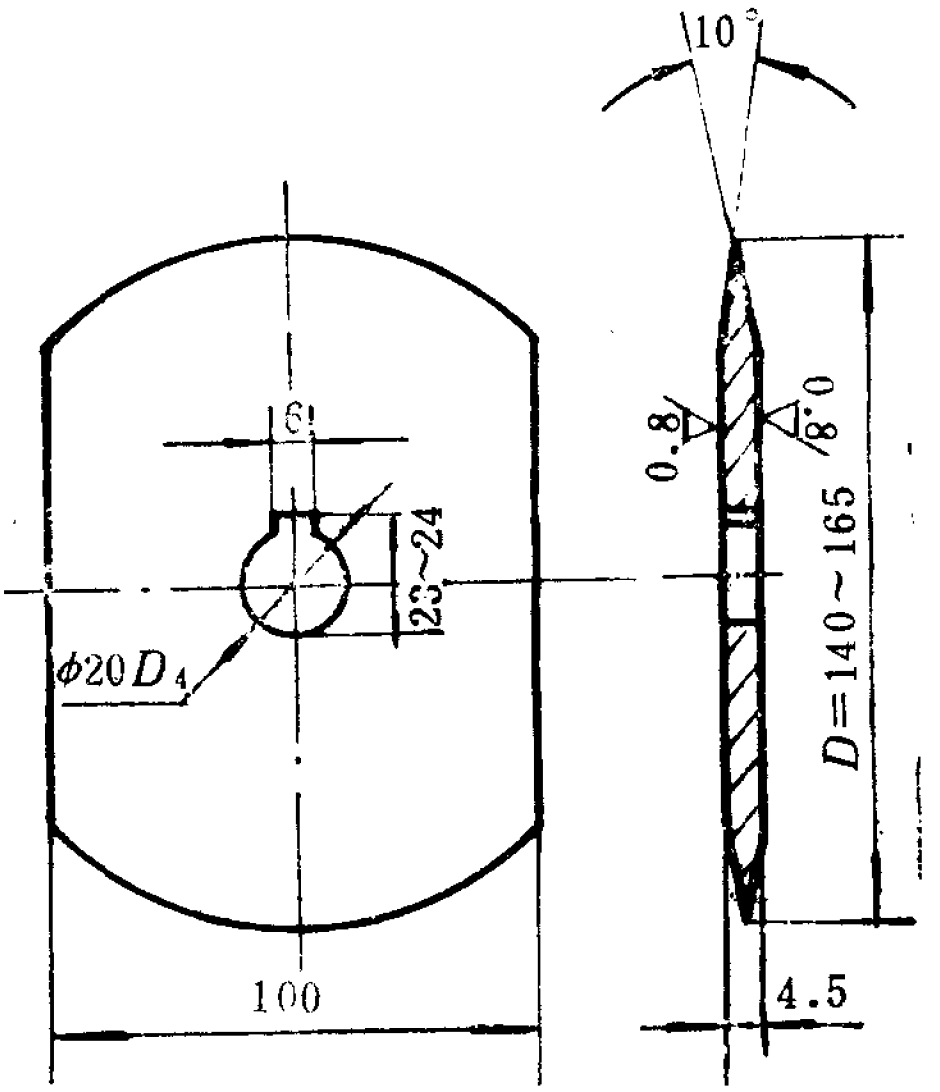


图2-2　刀片的形状和尺寸

在打出槽楔时，不可损伤铁心表面和槽口的冲片。线圈上的并头套可用喷灯火烤加热，火焰不可过大，以防止并头套和导线过热，以及烧损搪锡表面。

如果绕线转子集电环良好不需修理时，在拆除铜条绕组前，应在铁心上标记出与集电环引线位置相对应的引出线的槽号。

对复用的旧线圈，在拆除时要尽量保持线圈原来的形状，使不发生过大的弯曲变形。为此对于高压定子线圈，需要两个人面对面拆除线圈，要求线圈平稳抬起，不可用力过猛。

采用上述拔线机拔线圈时，需将线圈一端切断或理直。拔不动时不可强拔，以免损伤铁心。对于扁铜线，硬拔铜线也可能使截面积变小。拆除大型转子铜排绕组时，还要保留一端的弯曲形状不变。必要时，要在每根铜排绕组的端头打字，标志长短引线。

〔2-7〕　怎样做好拆绕组的原始记录？

答：首先要记录电动机铭牌数据：电动机型号、额定容量、

额定电压、额定电流、负载持续率、额定转速、制造厂名、出品年月日。对于转子绕组，还要记下转子电压、转子电流等。

其次还要记录引出线位置、长度和规格，绕组端部长度和端部绑扎固定情况。记录铁心尺寸、槽数，定子、转子铁心长度，定子铁心内径和外径，转子铁心外径。对于带有通风沟的铁心，要记录通风沟宽度和通风沟长。对于分数槽电动机，要详细记录绕组排列规律，以及绕组接线方式、并联路数、绕组结构型式。对于较复杂的特殊接线和转子铜排绕组，要画出接线草图和展开图。最后还要详细记录电动机故障部位、原因，以及修理项目和要求。

对于绕线转子，除了象定子绕组那样，记录电动机铭牌数据、铁心数据、绕组数据之外，还要按图 2-3 详细记录转子绕组各部尺寸和图形尺寸等。

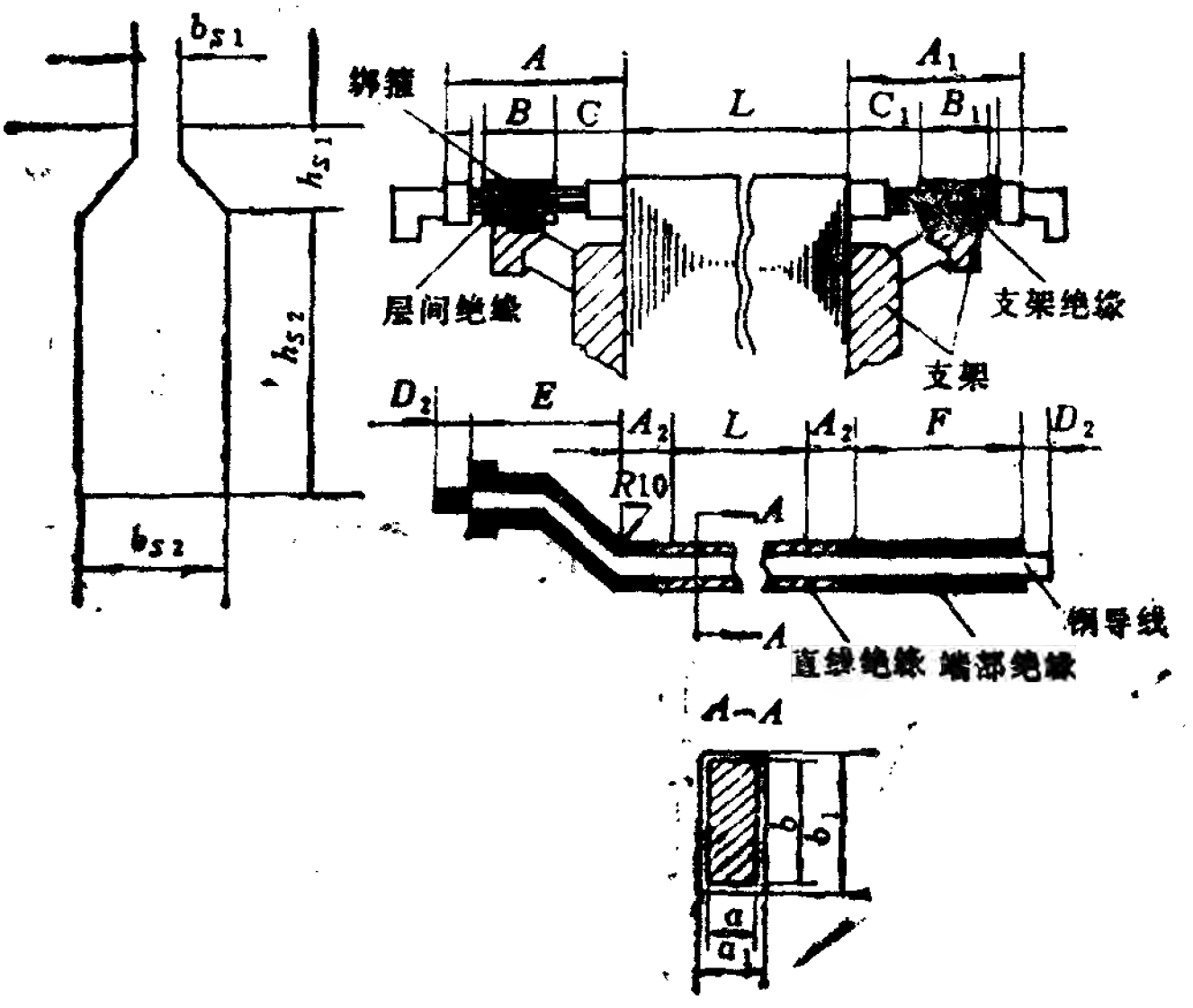


图2-3　绕线转子尺寸记录图

A、A_1—铁心与并头套间距离　B、B_1—绑扎长度　C、C_1—绑扎绝缘垫与铁心间距离　L—铁心长度　A_2—直线靠端部侧的绝缘重叠长度　D_2—不包绝缘头长度　F—端部绝缘长度　E—端部弯曲部分绝缘长度

其次，绕组在拆除中要求边拆边做记录，不要等全部拆后再靠回忆做总记录。要记录线圈节距，按槽号标志，要求记录准确。对于正弦绕组、单双层混合绕组，以及交叉式绕组等，由于节距不等，要分别记录。在记录导线规格时，要多测几个线圈，并且要在三个极相组上进行测量，线号要记录准确，尤其国外进口电动机。详细记录线圈匝数，必须检查两个以上的极相组匝数，同时要记录导线的并绕根数。

要记录线圈尺寸和形状，必要时要进行测绘，画出草图，还要保留1～2个完整线圈以作样品，供制作绕线模、样板以及检查新线圈时参考。

记录线圈绝缘规范、槽绝缘、槽楔、垫条等的材料，绝缘等级，尺寸规格。要保留一部完好样品，如槽楔等，并绘图记录。

对于高压电动机，要记录线圈的断面尺寸，记录包扎绝缘材料、规范、层数，并绘制直线和端部的线圈断面尺寸图，见图2-4。记录槽形尺寸，并画图标记，见图2-5。

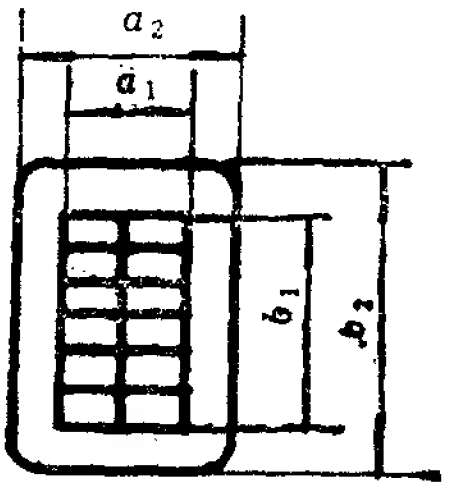


图2-4　线圈断面尺寸图

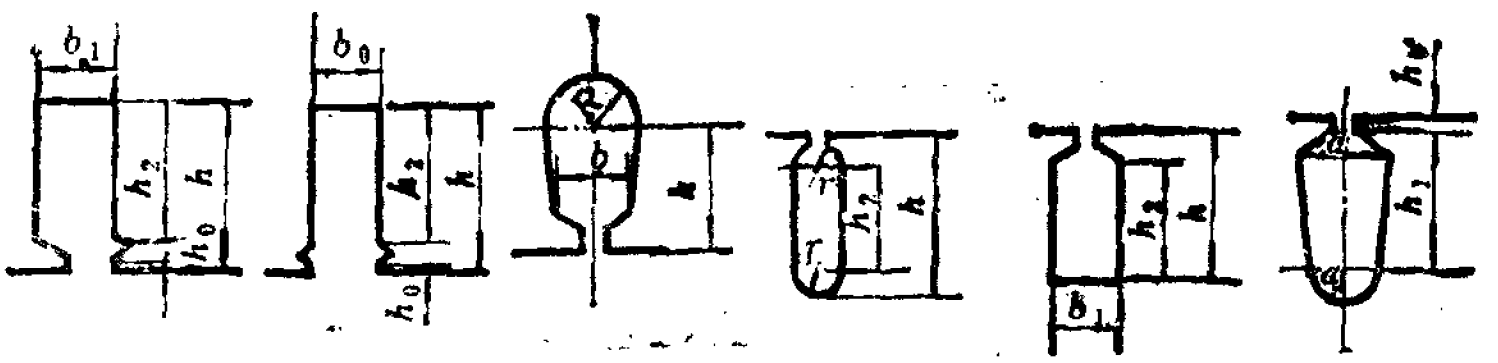


图2-5　各种槽形记录图

记录端箍的固定位置和与铁心的距离L，同时记录端箍的绝缘厚度，绝缘材料规格等，见图2-6。

记录转子端部绑扎材料、规格、尺寸（见图2-7）、层数、匝数、扣片个数和绝缘尺寸等。

做好记录后，要复查一次，然后交检验员检查，并进行修改。

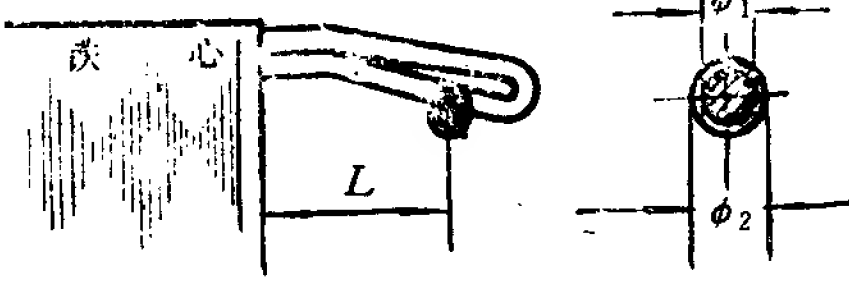


图2-6　记录端箍的位置

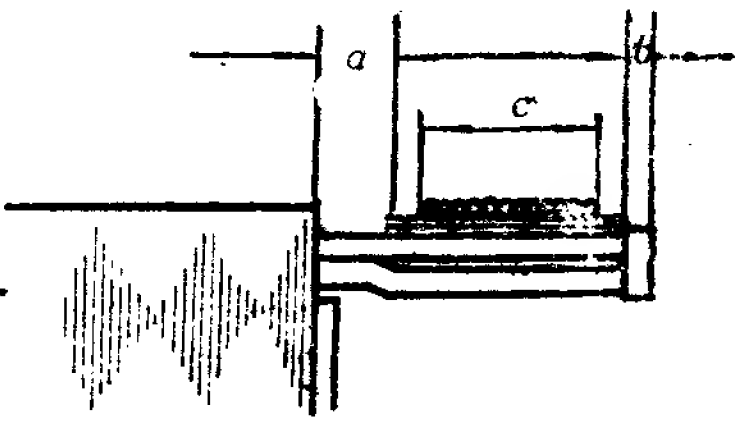


图2-7　记录绕组端部绑扎尺寸图

a—绝缘垫与铁心距离　b—并头套

c—绑扎长度

最后把记录填入记录卡片内。

〔2-8〕　清理铁槽内残余绝缘时有哪些工艺要求？

答：要求彻底清除槽内残余绝缘，尤其对于铁心槽细长的绕线转子，必须彻底清除干净，否则会影响导条外包绝缘厚度，对电动机绝缘质量也影响极大。清除过程中，必要时可用丙酮和甲苯混合溶剂浸泡，或用烧热的铁条通入槽内使残余绝缘和残漆灼焦脱掉。但不许用喷灯火烧铁心，以防铁心绝缘炭化和变形，失去导磁性能。

用砂布和锉刀清除槽口毛刺时，不可损伤铁心，不许将槽口用铁锉锉大。对于槽口不齐的冲片，可先采用手锤将已垫软金属或绝缘板的不齐冲片敲齐；然后清理槽口毛刺。

铁心的通风沟不准有堵塞现象，应保证畅通。对于铁心和机座上的油泥和污垢，如果用简单办法不易清理干净时，可采用中性洗涤溶液彻底清洗，清洗后要经烘干处理。

要求铁心的绝缘板完整，没有的要配齐，齿端板开焊或损坏的要修复。对于铁齿和铁心的烧结铁瘤，要先清理好，并经铁损耗试验合格后，再喷绝缘漆保护。

转子支架绝缘在更换线圈时，一般要更换新的，不要利用旧的。经过清理的铁心，要求内外清洁，铁心冲片整齐，槽口无毛刺，齿端板和绝缘端板要完整，机座内外表面、槽内、转子支架以及转轴等无锈迹、油垢和脏物。

〔2-9〕 修理电动机时保证绕线模和整形模尺寸的正确性有什么意义?

答：绕线模和整形模尺寸的正确性，不但影响嵌线工时、修理成本、绕组寿命，同时也影响电动机的电磁性能。有时修理单位，把线模库中存放的绕线模和整形模逐个检查尺寸，修改不合理的线模尺寸。这样，节省许多铜线和绕线工时，同时降低了铜耗，提高了电动机性能。因此，对绕线模和整形模定期检查，修正尺寸使之合理化，是一项可观的增产节能措施。

造成绕线模尺寸不合理的原因，一是施工人员单纯考虑嵌线方便，盲目放大线模尺寸，结果铜重增加，电动机效率降低，甚至线圈端部过长，无法安装端盖；二是改进不合理的绕组型式时，需要及时更换线模；修理单位在画绕线模之前，往往是用一根铜线仿照线圈尺寸，用手捏出线模轮廓，这时一定要准确，否则造成铜线浪费，降低电动机性能。由于用手捏铜线估出线模尺寸，虽然简单，但不精确，常因操作者经验不同，会画出各种不同的线模尺寸。如果能用公式验算一遍，就会获得理想的绕线模尺寸，因此，要学会绕线模的计算方法。

目前电动机绕组型式有新的改进，比如单双层混合绕组，用铜线靠手捏线模尺寸就比较困难，如果绕线模尺寸不正确，给嵌线带来困难不说，因铜重的增加、漏磁的影响，单双层混合绕组的优越性也随之失掉。因此，还要学会新型绕组的绕线模尺寸计算方法。

整形模或复形模是为了校正硬线圈几何尺寸用的。修理单位常用旧线圈做为标准画样板，这样误差很大，尤其角度误差非常大。因整形模尺寸精度不够，嵌线时会损伤绝缘，缩短线圈使用寿命。

以往国内外生产的老系列高压电动机，限于当时绝缘材料水平和绝缘工艺技术，绕组伸出铁心长度比目前生产的电动机较长，滚包绝缘结构更是如此。现在修理这类电动机时，已采用新的绝缘材料和绝缘结构，而线圈的几何尺寸还是按老样子去做，就会造成

铜线浪费。如果能按我国新标准去改进线圈尺寸，合理设计绕线模尺寸，一台中型高压电动机，就可节省数百公斤铜材。这样看来，精确计算绕线模和整形模尺寸，对于降低修理成本，提高电动机性能、降低温升、节约电费是有直接关系的。

为了便于读者制作绕线模，在本书附表3、4内分别给出Y80～160（IP44）三相异步电动机木模尺寸表和Y180～315（IP44）三相异步电动机木模尺寸表。

在附表5、6内给出J系列和JO系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表。

在附表7、8内给出J2、JO2系列三相异步电动机定子线圈木模尺寸表，可供参考。

〔2-10〕 单层交叉式线圈绕线模尺寸如何计算？

答：在计算绕线模之前，应详细记录下面的原始数据：D_{i1}为定子铁心内径、l为定子铁心长度、p为电动机极对数、Z_1为定子槽数、y为线圈跨距（y_1、y_2……）、d为导线绝缘直径、N为每个线圈的匝数、b_{o1}为定子槽口宽度、h_{s1}为定子槽高、h_1为定子内径表面到槽楔底侧的距离。（以上尺寸单位均为mm）

每极槽数：
$$Z_{p1}=\frac{Z_1}{2p}$$

各线圈的节距系数（短距比）：

小线圈：
$$\beta_1=\frac{y_1}{Z_{p1}}$$

大线圈：
$$\beta_2=\frac{y_2}{Z_{p2}}$$

线圈的跨距：

小线圈：
$$\tau_{y1}=\frac{\pi(D_{i1}+2h'_{s1})}{2p}\beta_1;\qquad h'_{s1}=\frac{1}{2}(h_{s1}+h_1)$$

大线圈：
$$\tau_{y2}=\frac{\pi(D_{i1}+2h'_{s1})}{2p}\beta_2$$

线圈端部长度：

小线圈：　　$l_{d1}=K\tau_{y1}$

大线圈：　　$l_{d2}=K\tau_{y2}$

$$C=l_{d1}+l_{d2}$$

式中　K值查表2-1

表2-1　K值表

极　数	2	4		6	8
绕组型式	单层同心式	交叉式	链　式	链　式	链　式
跨　距	1-12 2-11	2/1-9 1/1-8	1-6	1-6	1-6
K　值	1.16	1.20	1.20	1.20	1.25

线圈所占面积 S：　　$S=d^2N$

线模厚度按表2-2选择

表2-2　线模厚度 b 值

极数 \ 机座号	1	2	3	4	5
2	7.5	8.5	9	10	12
4	7.5	8	8.5	9	10
6	—	8	8.5	9	10
8	—	—	—	9	10

线模高度：　　$h_b=\dfrac{S}{b}$

通常　　$\dfrac{b}{h_b}=0.9\sim1.4$

各绕线模宽度：

小线圈：

$$\tau_{p1}=\sqrt{\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)^2+\left(\frac{D_{i1}}{2}\right)^2}\rightarrow$$

$$\rightarrow\sqrt{-2\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)\frac{D_{i1}}{2}\cos\theta_1}-b_{o1}$$

式中 $\theta_1=\dfrac{2\pi}{Z_1}y_1$

大线圈：

$$\tau_{p2}=\sqrt{\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)^2+\left(\frac{D_{i1}}{2}\right)^2}\rightarrow$$

$$\rightarrow\overline{-2\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)\frac{D_{i1}}{2}\cos\theta_2-b_{o2}}$$

式中 $\theta_2=\dfrac{2\pi}{Z_2}y_2$

各线圈端部长度：

小线圈：
$$l'_{d1}=\frac{(\tau_{p1}+h_b)^2-(\tau_{p2}+h_b)^2+C^2}{2C}$$

大线圈：
$$l'_{d2}=C-l'_{d1}$$

线圈端部高度：

小线圈：
$$h'_1=\sqrt{\frac{3}{16}\left[l'^2_{d1}-(\tau_{p1}+h_b)^2\right]}$$

大线圈：
$$h'_2=\sqrt{\frac{3}{16}\left[l'^2_{d2}-(\tau_{p2}+h_b)^2\right]}$$

绕线模总长：

小线圈：
$$L_1=L+2\left(h'_1-\frac{h_b}{2}\right)$$

大线圈：
$$L_2=L+2\left(h'_2-\frac{h_b}{2}\right)$$

绕线模端部圆弧半径：

小线圈：
$$R_1=\frac{2h'_1-h_b}{4}+\frac{2\tau_{p1}{}^2}{16h'_1-h_b}$$

大线圈：
$$R_2=\frac{2h_1'-h_b}{4}+\frac{2\tau_{p2}^2}{16h_1'-h_b}$$

线圈总长：
$$L_2'=L+l_d=l+2A+l_d$$

式中
$$l_d=\frac{1}{3}(2l_{d2}'+l_{d1}')$$

2A查表2-3

表2-3　2A值

极数 \ 电动机容量	1 kW以下	1～3 kW	3.5～4kW	4.5～15kW
2	20	20	30	30
4	20	25	30	30
6	20	22	24	30
8	20	22	24	30

单层交叉式绕线模尺寸见图2-8。

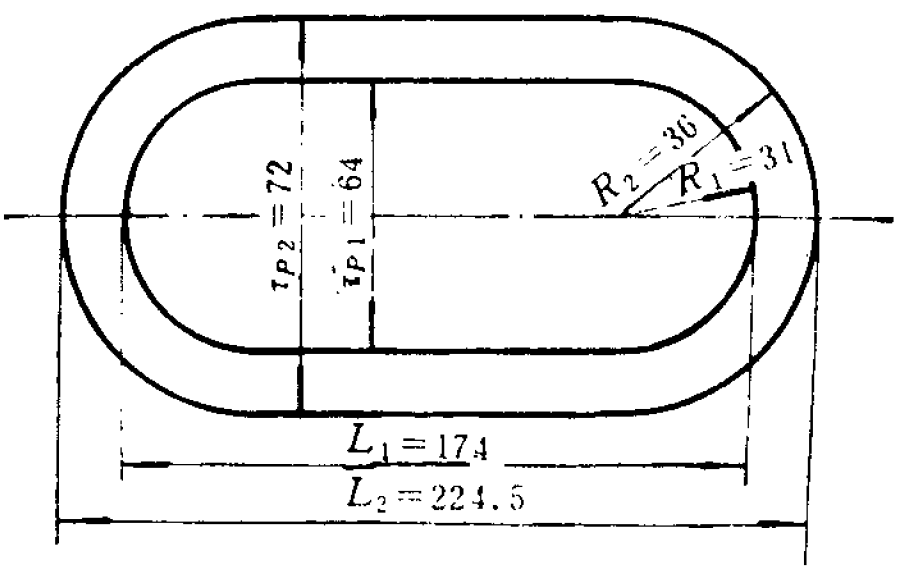


图2-8　单层交叉式线圈绕线模外形图

〔2-11〕　单层链式线圈绕线模尺寸如何计算？

答：通常链式线圈每组只有一圈，以此为例，如有数圈，可仿做数个即可。

线圈跨距：
$$\tau_y=\frac{\pi(D_{i1}+2h_{s1}')}{p}\beta$$

式中
$$h_{s1}'=h_p+\frac{1}{2}(h_{si}-h_1)=\frac{1}{2}(h_{s1}+h_1)$$

线圈端部长度：　　$l_d = K\tau_y$

式中　K按表2-1选取

绝缘导线所占面积：　　$h_b = \dfrac{S}{b}$

线圈端部高度：　　$h_1' = \sqrt{\dfrac{3}{16}\left[l_d^2 - (\tau_{p1} + h_b)^2\right]}$

线模端部长度：　　$h_1'' = h_1' - \dfrac{h_b}{2}$

线模总长：　　$L_1 = L + 2\left(h_1' - \dfrac{h_b}{2}\right) = L + 2h_1' - h_b$

线模宽度：

$$\tau_{p1} = \sqrt{\left(\frac{D_{i1} + h_{s1} + h_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_{i1}}{2}\right)^2} \rightarrow$$
$$\rightarrow \overline{- 2\left(\frac{D_{i1} + h_{s1} + h_1}{2}\right)\frac{D_{i1}}{2}\cos\theta - b_{o1}}$$

式中　$\theta = \dfrac{2\pi}{Z_1} y_1$

线模端部圆弧半径：　　$R_1 = \dfrac{2h_1' - h_b}{4} + \dfrac{\tau_{p1}^2}{8h_1' - 4h_b}$

单层链式线圈绕线模外形尺寸如图2-9所示。

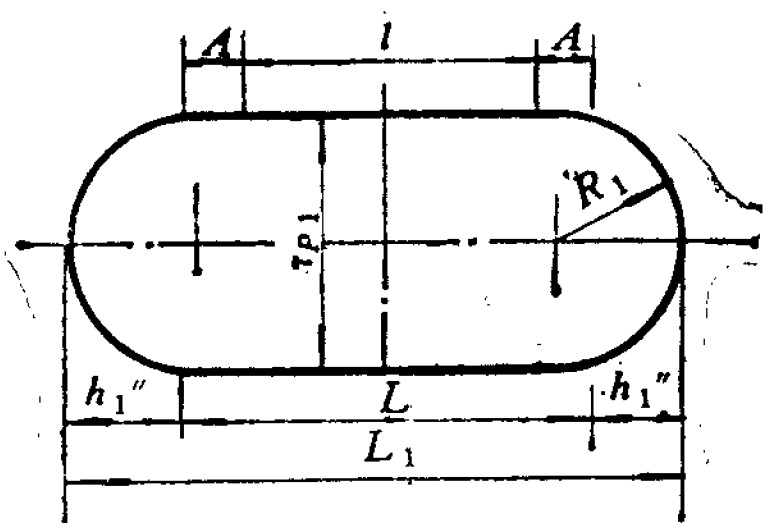


图2-9　单层链式线圈绕线模外形尺寸

〔2-12〕 单层同心式线圈绕线模尺寸如何计算？

答：通常是两个大小线圈套在一起，以此为例。

小线圈跨距：
$$\tau_{y1}=\frac{\pi(D_{i1}+2h'_{s1})}{2p}\beta_1$$

大线圈跨距：
$$\tau_{y2}=\frac{\pi(D_{i1}+2h'_{s1})}{2p}\beta_2$$

式中 $h'_{s1}=h_1+\frac{1}{2}(h_{s1}-h_1)=\frac{1}{2}(h_{s1}+h_1)$

每极槽数：
$$Z_{p1}=\frac{Z_1}{2p}$$

线圈节距系数：
$$\beta_1=\frac{y_1}{Z_{p1}}$$

$$\beta_2=\frac{y_2}{Z_{p1}}$$

线圈端部长度：

小线圈：
$$l_{d1}=K\tau_{y1}$$

大线圈：
$$l_{d2}=K\tau_{y2}$$

K值查表2-1

绕线模宽度：

小线圈：

$$\tau_{p1}=\sqrt{\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)^2+\left(\frac{D_{i1}}{2}\right)^2}\rightarrow$$

$$\rightarrow\sqrt{-2\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)\frac{D_{i1}}{2}\cos\theta_1}-b_{cu}$$

式中 $\theta_1=\frac{2\pi}{Z_1}y_1$

大线圈：

$$\tau_{p2}=\sqrt{\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)^2+\left(\frac{D_{i1}}{2}\right)^2}\rightarrow$$

$$\rightarrow\overline{-2\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)\frac{D_{i1}}{2}\cos\theta_2-b_{o1}}$$

式中 $\theta_2=\dfrac{2\pi}{Z_2}y_2$

要求 $\tau_{p2}\geqslant\tau_{p1}+2h_t$，如不满足时，可适当放大 τ_{p2}

线圈端部高度：$h_1'=\sqrt{\dfrac{3}{16}\left[l_{d1}^2-(\tau_{p1}+h_o)^2\right]}$

$$h_2'=\sqrt{\frac{3}{16}\left[l_{d1}^2-(\tau_{p2}+h_b)^2\right]}$$

要求 $h_2'\geqslant h_1'+h_b$，否则 l_{d1} 和 l_{d2} 进行调整。

绕线模端部长度：

小线圈：$h_1''=h_1'-\dfrac{h_b}{2}$

大线圈：$h_2''=h_2'-\dfrac{h_b}{2}$

绕线模总长：

小线圈：$L_1=L+2\left(h_1'-\dfrac{h_b}{2}\right)=L+2h_1'-h_b$

大线圈：$L_2=L+2\left(h_2'-\dfrac{h_b}{2}\right)=L+2h_2'-h_b$

绕线模端部圆弧半径：

小线圈：$R_1=\dfrac{2h_1'-h_b}{4}+\dfrac{\tau_{p1}^2}{8h_1'-4h_b}$

大线圈：$R_2=\dfrac{2h_1'-h_b}{4}+\dfrac{\tau_{p2}}{8h_2'-4h_b}$

单层同心式线圈绕线模外形尺寸如图2-10所示。

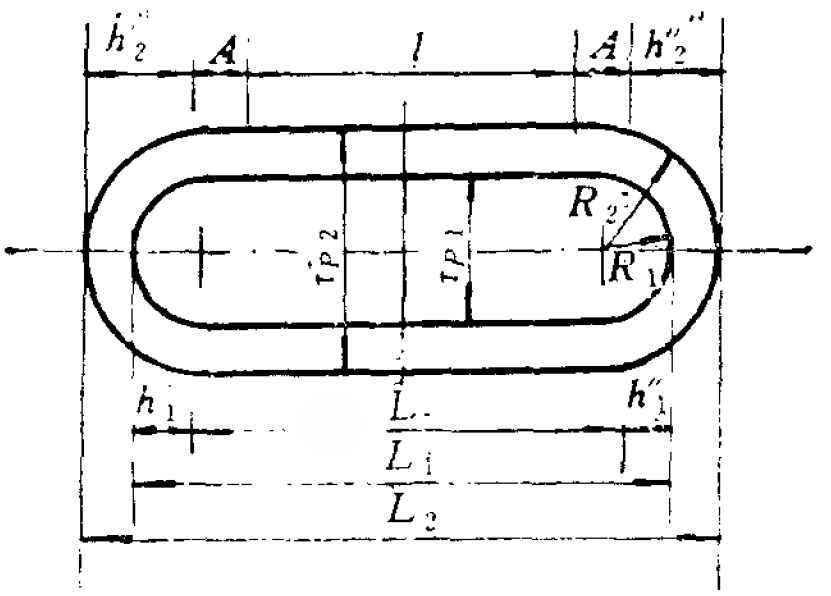


图2-10　单层同心式线圈绕线模外形尺寸

例：一台无铭牌电动机，铁心尺寸和旧绕组数据测量如下：$D_{i1}=104$，$l=95$，$Z_1=36$，$h_{s1}=16.5$，$h_1=3.5$，$b_{o1}=2.5$，$2p=4$，43匝/线圈，线径 $\phi1.0/\phi1.10$。要求配单层交叉式绕组，线圈跨距为：2/1—9，1/1—8，即 $y_1=7$，$y_2=8$。

计算：

线圈节距系数：
$$\beta_1=\frac{y_1}{Z_{p1}}=\frac{y_1}{Z_1/2p}=\frac{7}{9}=0.778$$

$$\beta_2=\frac{y_2}{Z_{p1}}=\frac{8}{9}=0.889$$

线圈跨距：
$$\tau_{y1}=\frac{\pi(D_{i1}+2h'_{s1})}{2p}\beta_1$$

$$=\frac{\pi(104+2\times10)}{4}\times0.778$$

$$=75.8\ (\text{mm})$$

$$\tau_{y2}=\frac{\pi(D_{i1}+2h'_{s1})}{2p}\beta_2=\frac{\pi(104+2\times10)}{4}\times0.889$$

$$=86.6\ (\text{mm})$$

式中 $h'_{s1}=\frac{1}{2}(h_{s1}+h_1)=\frac{1}{2}(16.5+3.5)=10$ (mm)

线圈端部长度：

$$l_{d1}=K\tau_{y1}=1.2\times 7.58=91 \text{ (mm)}$$

$$l_{d2}=K\tau_{y2}=1.2\times 86.6=104 \text{ (mm)}$$

$$C=l_{d1}+l_{d2}=195 \text{ (mm)}$$

式中 K值查表2-1，取1.2

线圈所占面积：

$$s=d^2N$$

$$=(1.1)^2\times 43=52 \text{ (mm}^2\text{)}$$

由表2-2，取绕线模厚度 $b=8.5$，则线模高度 $h_b=\frac{s}{b}=\frac{52}{8.5}$

=6.12(mm)，通常 $b/h_b=0.9\sim 1.4$。验算：

$$\frac{b}{h_b}=\frac{8.5}{6.12}=1.39$$

绕线模宽度：

$$\tau_{p1}=\sqrt{\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)^2+\left(\frac{D_{i1}}{2}\right)^2}\rightarrow$$

$$\rightarrow\sqrt{-2\left(\frac{D_{i1}+h_{s1}+h_1}{2}\right)\frac{D_{i1}}{2}\cos\theta}-b_{o1}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{104+16.5+3.5}{2}\right)^2+\left(\frac{104}{2}\right)^2}\rightarrow$$

$$\rightarrow\sqrt{-2\left(\frac{104+16.5+3.5}{2}\right)\frac{104}{2}\cos 70^\circ}-2.5$$

$$=63.6 \text{ (mm)}$$

式中 $\theta_1=\frac{2\pi}{Z_1}y_1=\frac{360}{36}\times 7=70^\circ$

$$\tau_{p2}=\sqrt{\left(\frac{104+16.5+3.5}{2}\right)^2+\left(\frac{104}{2}\right)^2}$$

$$\rightarrow\sqrt{-2\left(\frac{104+16.5+3.5}{2}\right)\frac{104}{2}\cos 80^\circ}-2.5$$

$$=71.5\ (\text{mm})$$

式中 $\theta_2=\frac{2\pi}{Z_1}$ $y_2=\frac{360}{36}\times 8=80^\circ$

取 $\tau_{p1}=64(\text{mm})$； $\tau_{p2}=72(\text{mm})$

线圈端部长度：

$$l'_{d1}=\frac{(\tau_{p1}+h_b)^2-(\tau_{p2}+h_b)^2+C^2}{2C}$$

$$=\frac{(64+6.12)^2-(72+6.12)^2+195}{2\times 195}$$

$$=94.3\ (\text{mm})$$

$$l'_{d2}=C-l'_{d1}=195-94.3=100.7\ (\text{mm})$$

线圈端部高度：

$$h_1'=\sqrt{\frac{3}{16}\left[l'^2_{d1}-(\tau_{p1}+h_b)^2\right]}$$

$$=\sqrt{\frac{3}{16}\left[94.3^2-(64+6.12)^2\right]}$$

$$=27.4\ (\text{mm})$$

$$h_2'=\sqrt{\frac{3}{16}\left[(l_d'_2)^2-(\tau_{p2}+h_b)^2\right]}$$

$$=\sqrt{\frac{3}{16}\left[100.7^2-(72+6.12)^2\right]}$$

$$=27.4\ (\text{mm})$$

绕线模总长：

$$L_1=L+2\left(h_1'-\frac{h_b}{2}\right)=95+30+2\left(27.4-\frac{6.12}{2}\right)$$

$$=173.7\ (\text{mm})$$

$$L_2=L+2\left(h_2'-\frac{h_b}{2}\right)=95+30+2\left(27.4-\frac{6.12}{2}\right)$$

$$=173.7\ (\text{mm})$$

取 $L_1=L_2=174$ (mm)

绕线模端部圆弧半径：

$$R_1=\frac{2h_1'-h_b}{4}+\frac{2\tau_{p1}^2}{16h_1'-h_b}$$

$$=\frac{2\times27.4-6.12}{4}+\frac{2(64)^2}{16\times27.4-6.12}$$

$$=31.18\ (\text{mm})$$

$$R_2=\frac{2\times27.4-6.12}{4}+\frac{2(72)^2}{16\times27.4-6.12}$$

$$=36.28\ (\text{mm})$$

取 $R_1=31$ (mm)；$R_2=36$ (mm)

$$L_2'=l+2A+l_d$$

$$=95+30+98.5=224.5\ (\text{mm})$$

式中 $l_d=\frac{1}{3}(2l_{d2}'+l_{d1}')=\frac{1}{3}(2\times100.7+94.3)$

$$=98.5\ (\text{mm})$$

$2A$查表2-3 取$2A=30$

〔2-13〕 单双层混合绕组绕线模尺寸如何计算？

答：在修复单双层混合绕组时，常发现嵌线困难，端部不易整形，严重时线圈返工。主要原因是绕线模尺寸制造的不合理。制作绕线模时，要特别注意各个同心线圈尺寸配合合适（俗称“合套”），线圈出槽口应有足够的直线部分，为此，要进行绕线

模尺寸的计算工作。

下面以 JO2L-82-2 为例，阐述这类绕组的绕线模尺寸确定方法。

已知：$Z_1=36$槽，铁心长 $l=230$mm，2 极，采取2-4-2 型的单双层混合绕组型式，槽形尺寸如图2-11所示。

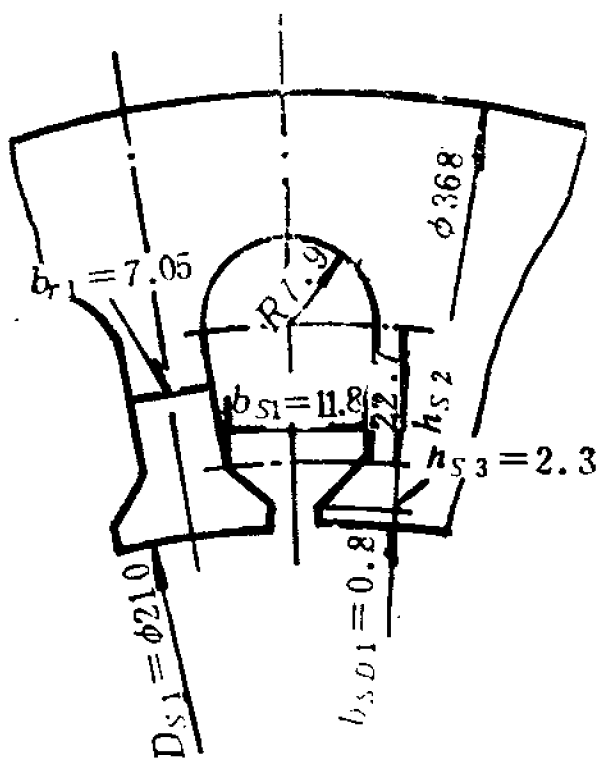


图2-11　冲片槽形尺寸

计算：

（1）各线圈边的跨距：

$$\tau_{yi}=\frac{\pi[D_{i1}+2(h_{s0}+h_{s1})+h_{s2}+R]}{2p}\beta_i$$

$$=\frac{\pi[210+2(0.8+2.3)+22.7+7.9]}{2}\beta_i=388\beta$$

式中　β_i——各线圈跨距的短距比

每极槽数：　$Z_{p1}=\frac{Z_1}{2p}=\frac{36}{2}=18$

对于 JO2L-82-2电动机，β_i 分别为：

$$\beta_1=\frac{17}{18},\quad \beta_2=\frac{15}{18},\quad \beta_3=\frac{13}{18},\quad \beta_4=\frac{11}{18}$$

代入上式，得：

$$\tau_{y1}=388\beta_1=366\ (\text{mm})$$

$$\tau_{y2}=388\beta_2=326\ (\text{mm})$$

$$\tau_{y3}=388\beta_3=280\ (\text{mm})$$

$$\tau_{y4}=388\beta_4=237\ (\text{mm})$$

（2）线圈直线边和端部斜边间的夹角 α：

$$\sin\alpha=\frac{b_{s1}+2R}{b_{s1}+2R+2b_{r1}}=\frac{11.8+2\times7.9}{11.8+2\times7.9+2\times7.05}$$

$$=0.662$$

$$\alpha=\sin^{-1}0.662=41.5^{\circ}$$

（3）用作图法画出绕线模，画图步骤（图2-12）如下。

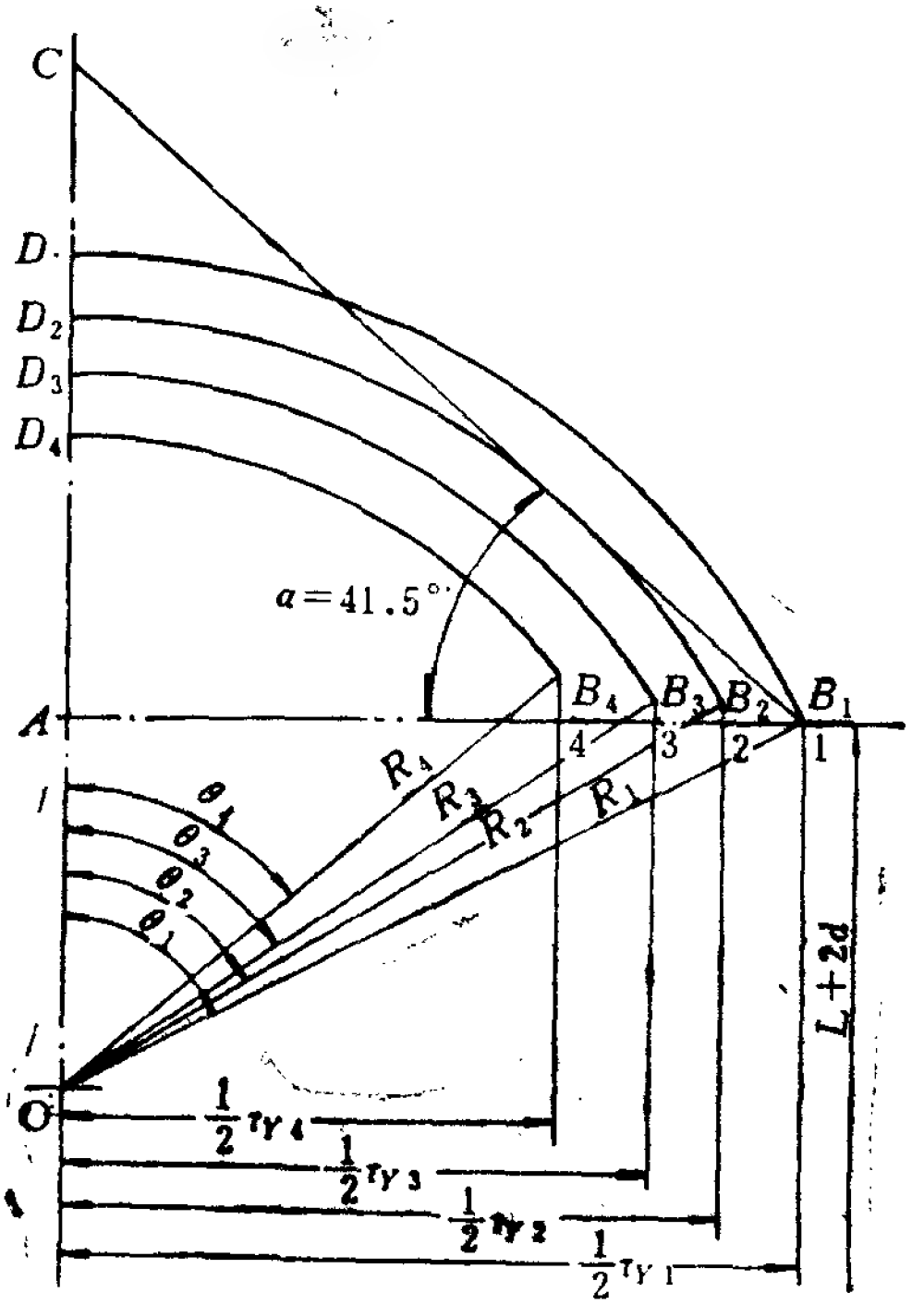


图2-12　单双层混合绕组绕线模尺寸作图法

在横坐标轴上截取$\frac{1}{2}\tau_{y1}$、$\frac{1}{2}\tau_{y2}$、$\frac{1}{2}\tau_{y3}$、$\frac{1}{2}\tau_{y4}$各点，分别表示为1、2、3、4。

以$\frac{1}{2}\tau_{y1}=183$为始点向纵轴引直线，此直线B_1C与横轴夹角为$\alpha=41.5°$，构成直角三角形AB_1C。

在CA延长线上找一点O，以O为圆心，以OB_1为半径画圆，圆弧$\overset{\frown}{B_1D_1}$弧长应近似等于直线B_1C长，这时的O点便是所求的圆心。

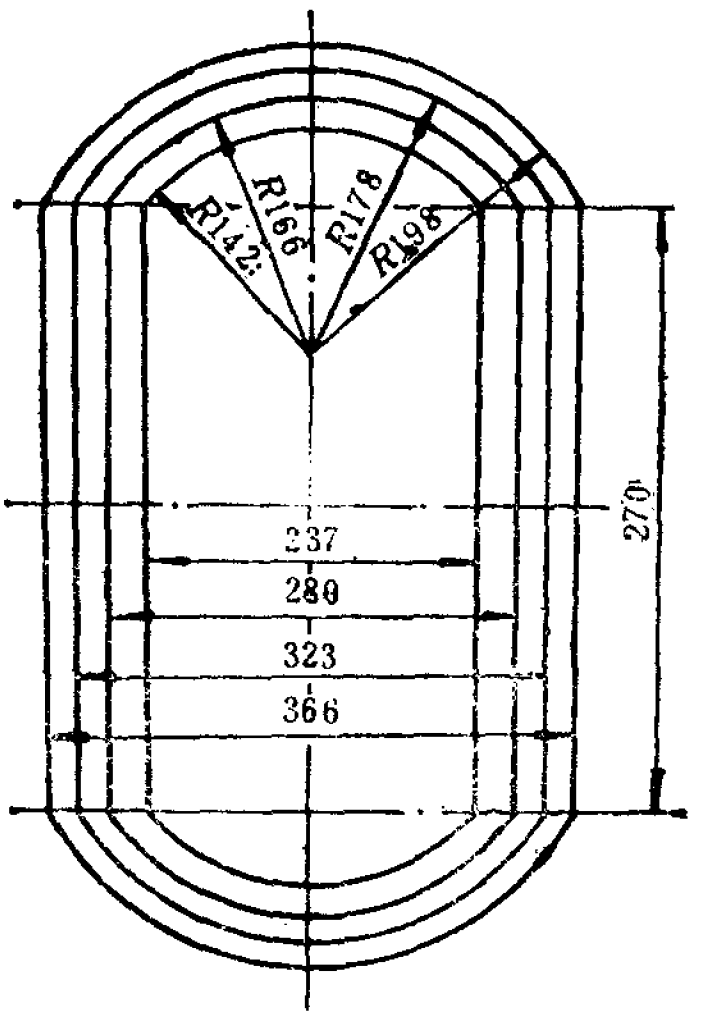


图2-13　线圈尺寸图

由图中量出$OB_1=R_1=198$，则

$$R_2=R_1-2R\times K_1=198-2\times7.9\times1.25=178\ (\text{mm})$$

$$R_3=R_2-2R\times K_2=178-2\times7.9\times1.15=160\ (\text{mm})$$

$$R_4=R_3-2R\times K_2=160-2\times7.9\times1.15=142\ (\text{mm})$$

式中　R——定子槽底半径，$R=7.9$

K_1、K_2——系数，单层线圈$K_1=1.25$；双层线圈$K_2=1.15$

再以O为圆心，以R_2、R_3、R_4为半径分别作圆弧$\overset{\frown}{D_2B_2}$、$\overset{\frown}{D_3B_3}$、$\overset{\frown}{D_4B_4}$，各圆弧与相应的线圈的直线边的交点为B_2、B_3、B_4。

用上面求得的尺寸作线圈图（图2-13）。

图示尺寸为各线圈平均尺寸、而绕线模尺寸是由图2-13中轮廓尺寸减去半个线圈厚度即可。现取线圈厚度是槽平均宽为12mm，则绕线模尺寸如图2-14。

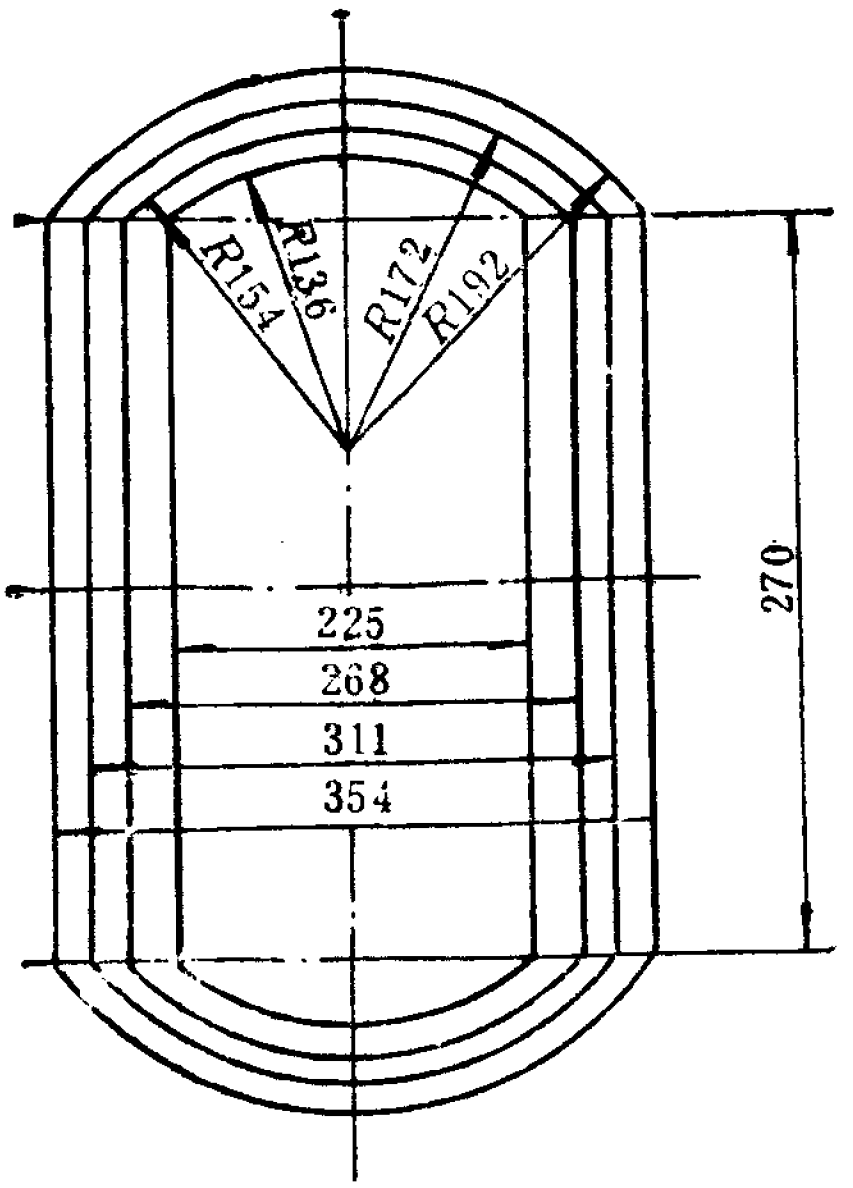


图2-14　绕线模尺寸图

〔2-14〕　成型线圈绕线模尺寸如何计算？

答：现场修理成型线圈时，常是采取下述办法确定绕线模尺寸。选择比较完整的旧线圈，经初步整形后，测出各部分尺寸，作好记录。然后烧除旧绝缘，退火整形，做出棱形线圈形状，按此线圈模型的内部轮廓确定绕线模尺寸(图2-15)。

如果没有旧线圈，可用一根铜线按照线圈跨距，用手捏的办法，确定线圈绕线模尺寸。上述办法，虽然简单，但因每人经验不同，误

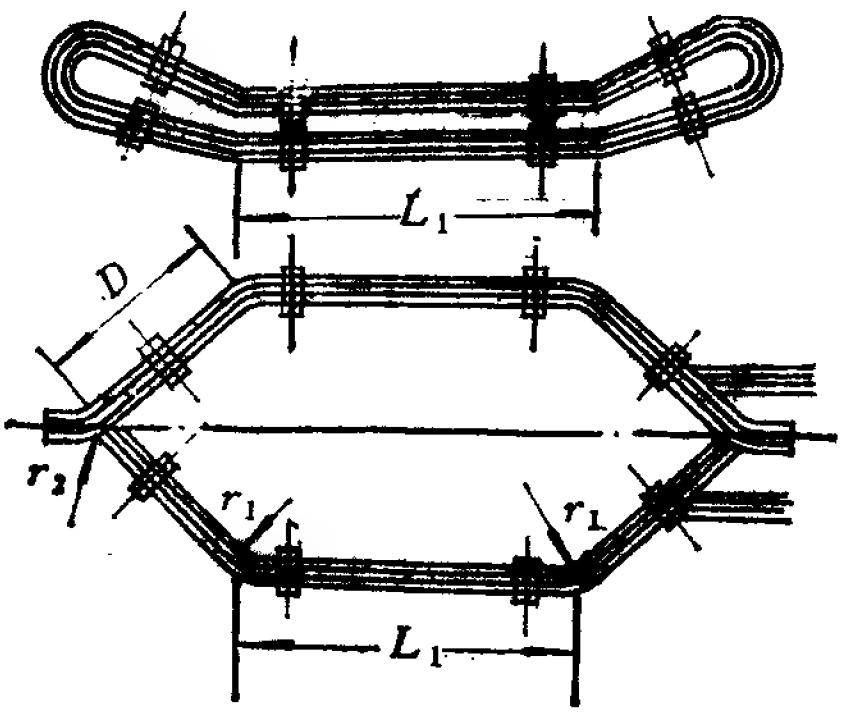


图2-15　不带绝缘的线圈图

差较大。同时不好确定改进旧线圈的尺寸。因此，有必要进行计算，精确确定绕线模尺寸。

线圈两边之间的距离：$\tau_{p1}=\dfrac{\pi(D_{i1}+h_{s1})}{Z_1}y-s$（见图2-16）

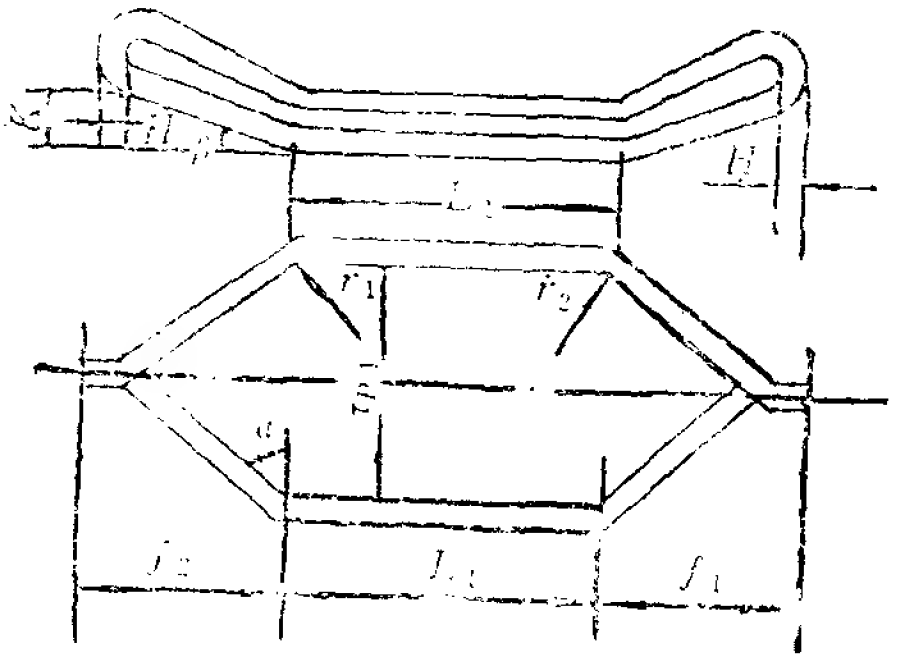


图2-16　线圈主要尺寸

式中　D_{i1}——定子铁心内径（mm）

h_{s1}——定子槽高（mm）

y——线圈跨距

Z_1——定子槽数

s——端部线圈宽度，并计及膨胀情况，可近似取齿宽b_{t1}。

线圈端部倾斜角度α：$\sin\alpha=\dfrac{s+XZ_1}{\pi(D_{i1}+h_{s1})}$

式中　X——两相邻线圈端接部分距离，查表2-4

线圈直线部分长度$L_1=L+2a$（mm）

式中　L——定子铁心长（mm）

a——线圈直线部分长出铁心的长度，查表2-4。

端接部分伸出长度为$f_1(f_2)$

$$f_1(f_2)=\left[r_2\left(\frac{1}{\sin\alpha}-1\right)+\frac{\tau_p}{2}\right]\mathrm{tg}\alpha+H_1(H_2)$$

表2-4 a 和 X 值表

电动机电压(V)	a(mm)	X 值 (mm)	
		线圈高度在50以下	线圈高度在50以上
500及以下	20～25(20)	4～4.5	4.5
3000	35～40(40)	4.5～5	4.5～5
6000	50～55(60)	5～5.5	5.5～6.5

注：括弧内数值为国外生产的电动机数值。

式中 f_1——线圈出线端一侧的伸出长度

f_2——出线端背面一侧的伸出长度

r_2——线圈沿线圈中心线由直线部分转到端接部分时的圆弧半径

$$r_2 = r_1 + \frac{S}{2}$$

式中 r_1——铜条以前的弯曲半径。对端接部分没用云母带绝缘的线圈，$r_1=25$mm；对端接部分用云母带绝缘的线圈，$r_1=50$mm

H_1——出线端一侧未绝缘的线圈高度

H_2——另一侧的高度

r——端部内半径，3kV以下取12mm，6kV以上取15mm

端接部分弯折高度：$K = (f_2 - H_2 - r)\operatorname{tg}\beta$

式中 β——端接部分弯折的角度，一般取6°～8°

绕线模尺寸的决定：

（1）棱形绕线模（图2-17）：

$$R = r \quad (\text{mm})$$

$$B = L_1 + 2D + r_1 + r_2 \ (\text{mm})$$

（2）船形绕线模（图2-18）：

$$R = r \ (\text{mm})$$

$$B = L_1 \ (\text{mm})$$

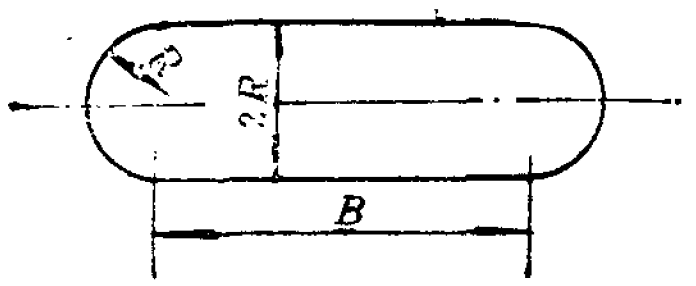


图2-17　棱形绕线模尺寸

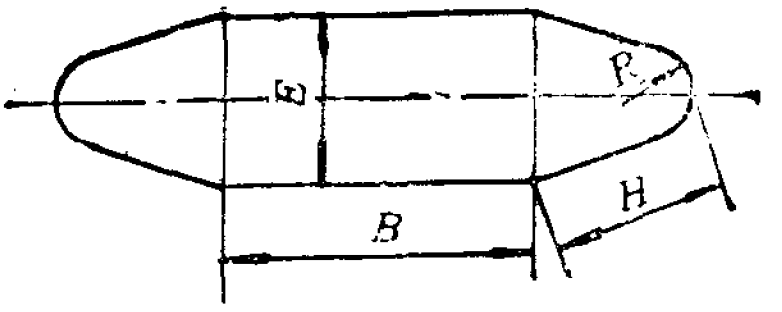


图2-18　船形绕线模尺寸

$$H = D + \frac{1}{2}(r_1 + r_2) + r \quad (\text{mm})$$

图中 E 可根据具体情况适当调整，一般取

$$E = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}\right) A$$

〔2-15〕　整形模尺寸如何计算？

答：根据施工图纸或按电动机铁心和绕组尺寸实地测量，可获得下面所需的数据。

定子铁心内径 D_{i1}、线圈跨距 y、定子槽数 Z_1、线圈直线长度 L、线圈单边绝缘厚度 K、线圈包扎对地绝缘之前直线部分截面积 $b \times h$、槽内绝缘结构（图2-19）、角度 α_1 和 α_2（图2-20）。

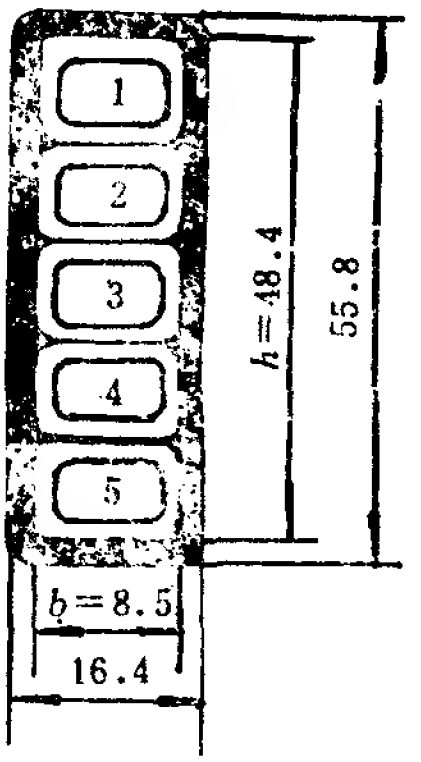


图2-19　槽内绝缘结构尺寸

下面结合实例介绍整形模计算程序。

TZ213/54-12型，2880kW三相同步电动机定子线圈（图2-20），10000V，线圈跨距 $y = 1—10$槽，线圈尺寸 $b \times h = 8.5 \times 48.4$，$\alpha_1 = 13^\circ 37'$，$\alpha_2 = 12^\circ 7'$，绝缘厚度 $K = 3.95$mm，$Z_1 = 126$槽，12极。

计算：（整形模计算尺寸如图2-21所示）

（1）中心角 $\alpha = \frac{360^\circ}{Z_1} y = \frac{360^\circ}{126} \times 9 = 25^\circ 44'$

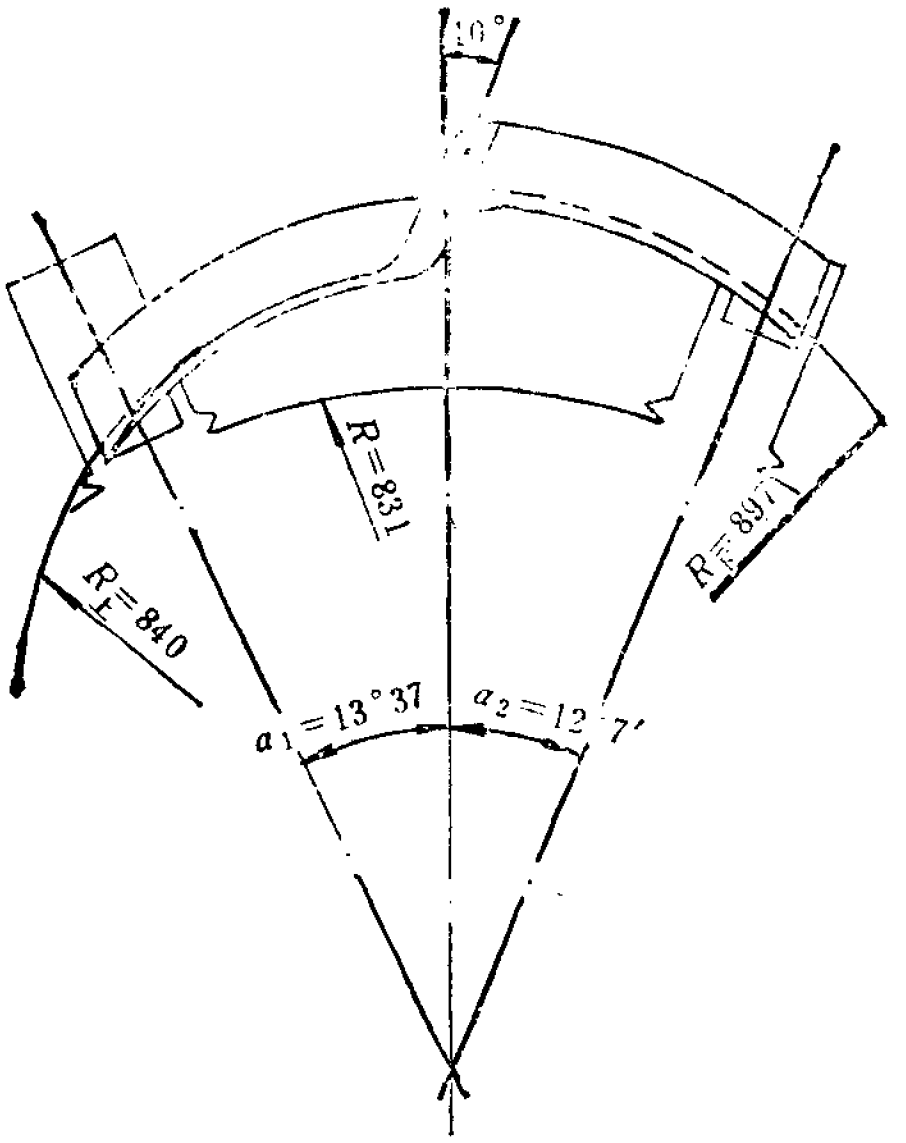


图2-20 TZ213/54-12，2880kW定子线圈端部图

(2) $R_1 = R_{上} + h + K = 840 + 48.4 + 3.95 = 892.35$

(3) $R_2 = R_{下} + h + K = 897 + 48.4 + 3.95 = 949.35$

由图2-20知：$R_{上} = 840$；$R_{下} = 897$

(4) $B_1 = R_1 \sin\alpha_1 = 892\sin 12^\circ 37' = 210.06$

(5) $B_2 = R_2 \sin\alpha_2 = 949.35\sin 12^\circ 7' = 199.27$

(6) $H_1 = R_1 \cos\alpha_1 = 892.35 \times 0.9721 = 867.45$

(7) $H_2 = R_2 \cos\alpha_2 = 949.35 \times 0.9779 = 928.37$

(8) $x_1 = \left(\frac{b}{2} + K\right)\cos\alpha_1 = \left(\frac{8.5}{2} + 3.95\right) \times 0.9721 = 7.97$

(9) $x_2 = \left(\frac{b}{2} + K\right)\cos\alpha_2 = 8.2 \times 0.9779 = 8.019$

(10) $y_1 = \left(\frac{b}{2} + K\right)\sin\alpha_1 = 8.2 \times 0.2354 = 1.93$

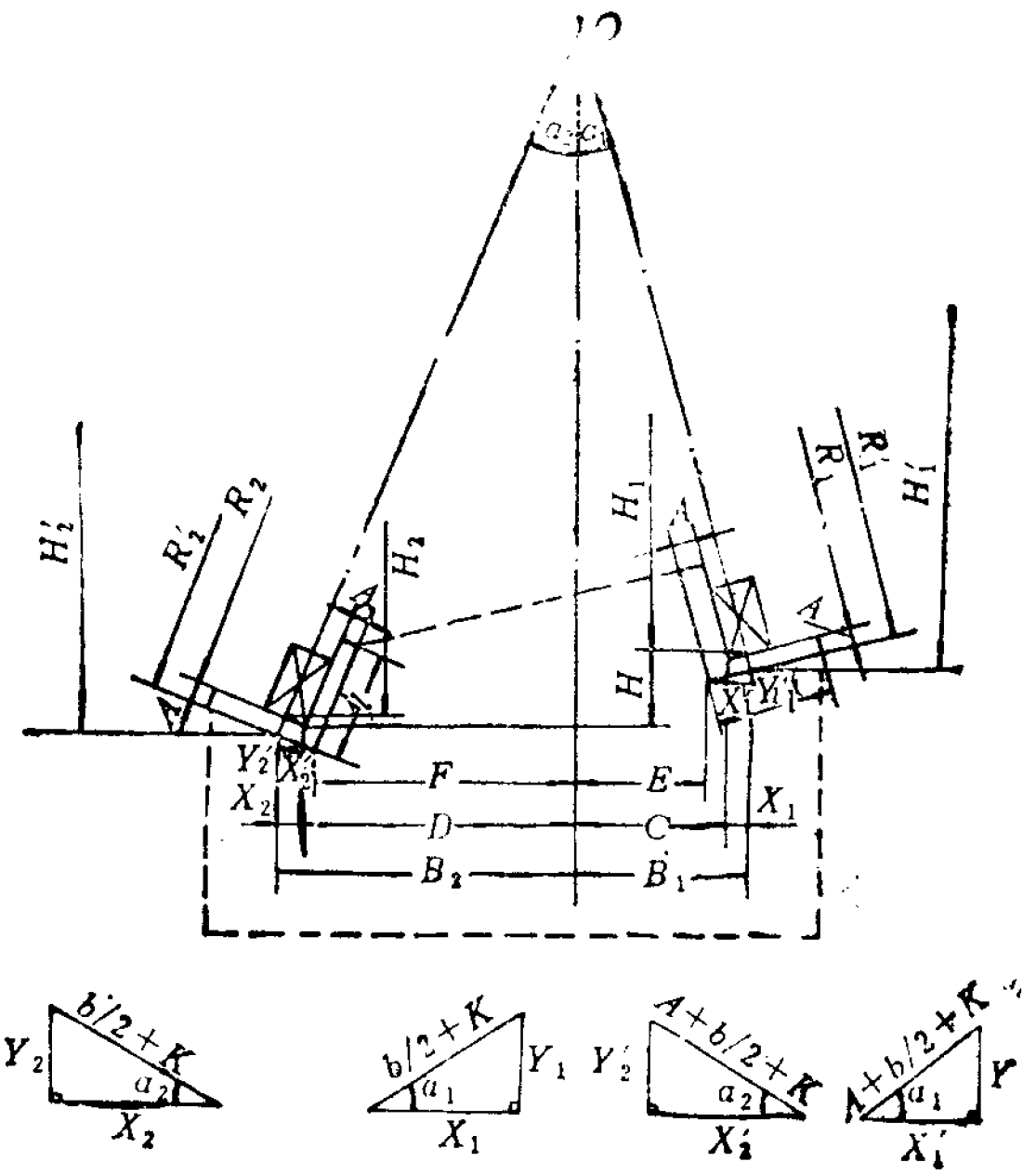


图2-21　整形模计算尺寸

(11) $y_2=\left(\frac{b}{2}+K\right)\sin\alpha_2=8.2\times0.2099=1.72$

(12) $C=B_1-x_1=210.06-7.97=202.09$

(13) $D=B_2-x_2=199.27-8.019=191.251$

(14) $H=H_2-H_1-y_1+y_2=928.37-867.45-1.93$
$+1.72=60.71$

(15) $R_1'=R_1+A=892.35+20=912.35$

(16) $R_2'=R_2+A=949.35+20=969.35$

(17) $y_1'=\left(\frac{b}{2}+K+A\right)\sin\alpha_1'=(8.2+20)\times0.2354$
$=6.638$

(18) $x_1' = \left(\frac{b}{2} + K + A\right)\cos\alpha_1 = (8.2+20)\times 0.9721$

$= 27.41$

(19) $y_2' = \left(\frac{b}{2} + K + A\right)\sin\alpha_2 = 28.2\times 0.2099 = 5.919$

(20) $x_2' = \left(\frac{b}{2} + K + A\right)\cos\alpha_2 = 28.2\times 0.9779 = 27.58$

式中 A取20

(21) $F = D - x_2' + x_2 = 191.251 - 27.58 + 8.019$

$= 171.69$

(22) $E = C - x_1' + x_1 = 202.09 - 27.41 + 7.97$

$= 182.65$

(23) $H_1' = (R_1 + A)\cos\alpha_1 = (892.35+20)\times 0.9779$

$= 886.895$

(24) $H_2' = (R_2 + A)\cos\alpha_2 = (949.35+20)\times 0.9779$

$= 947.92$

(25) $G = H_2' - H_1' + y_2' - y_1' = 947.93 - 886.895$

$+ 5.919 - 6.638 = 60.36$

(26) $E + F = 171.69 + 182.65 = 354.34$

以上尺寸单位均为mm。

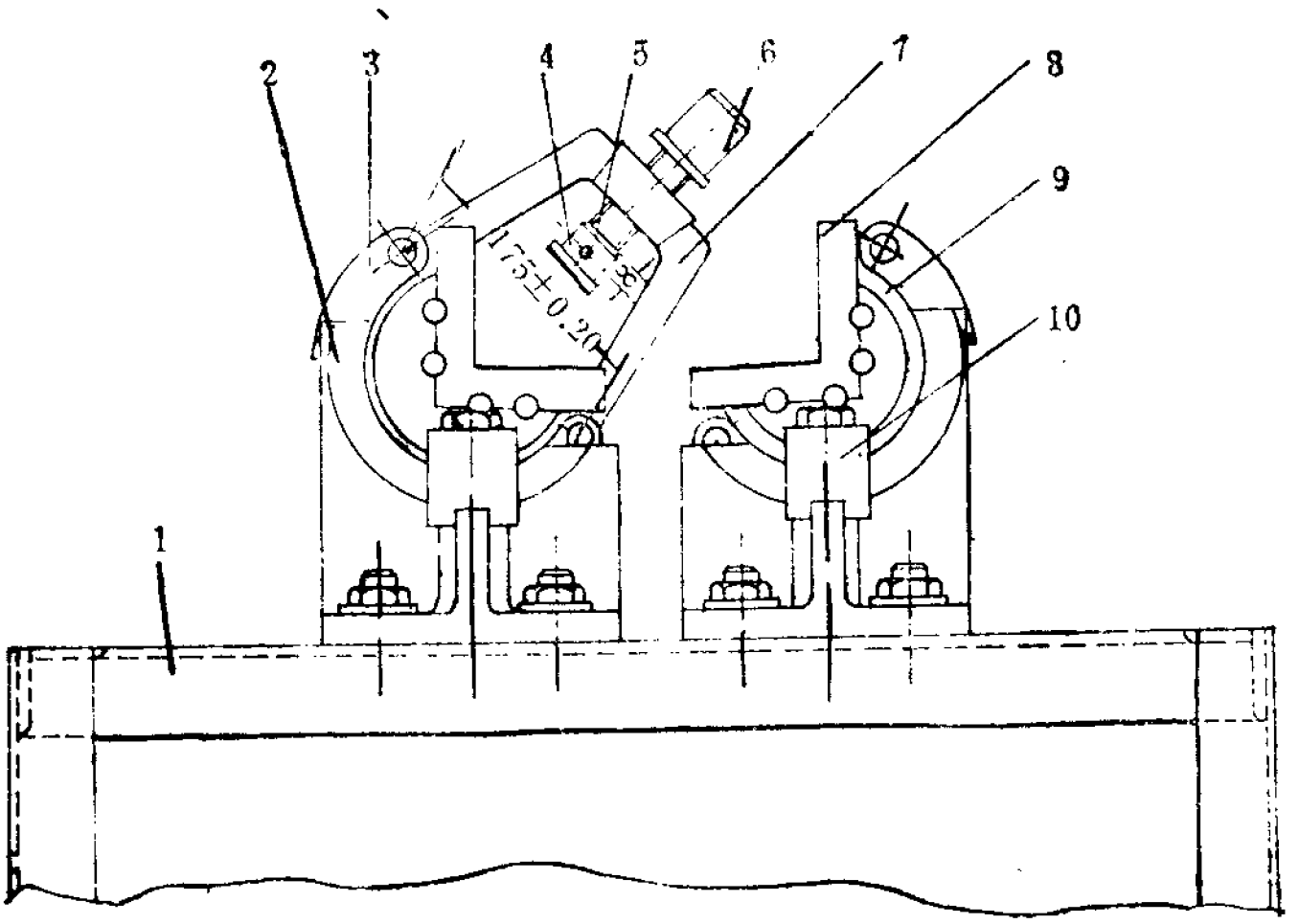
〔2-16〕 自制高压电动机线圈热压模时要考虑哪些技术问题?

答：线圈模压的目的是使线圈各层绝缘压紧，形成一个紧密坚固的整体，从而提高线圈耐电气强度，延长线圈使用寿命。

当前，电动机修理单位一般采用电加热的通用热压模，见图2-22所示。

在自制设计热压模时要考虑以下技术问题。

（1）上压模与下压模接触面要大些，因为上压模的热量是靠下压模传给它的，为了使上下压模热量均匀（这是线圈热压要求的），温差小，所以上压模要适当大些，但上压模要经常搬动，



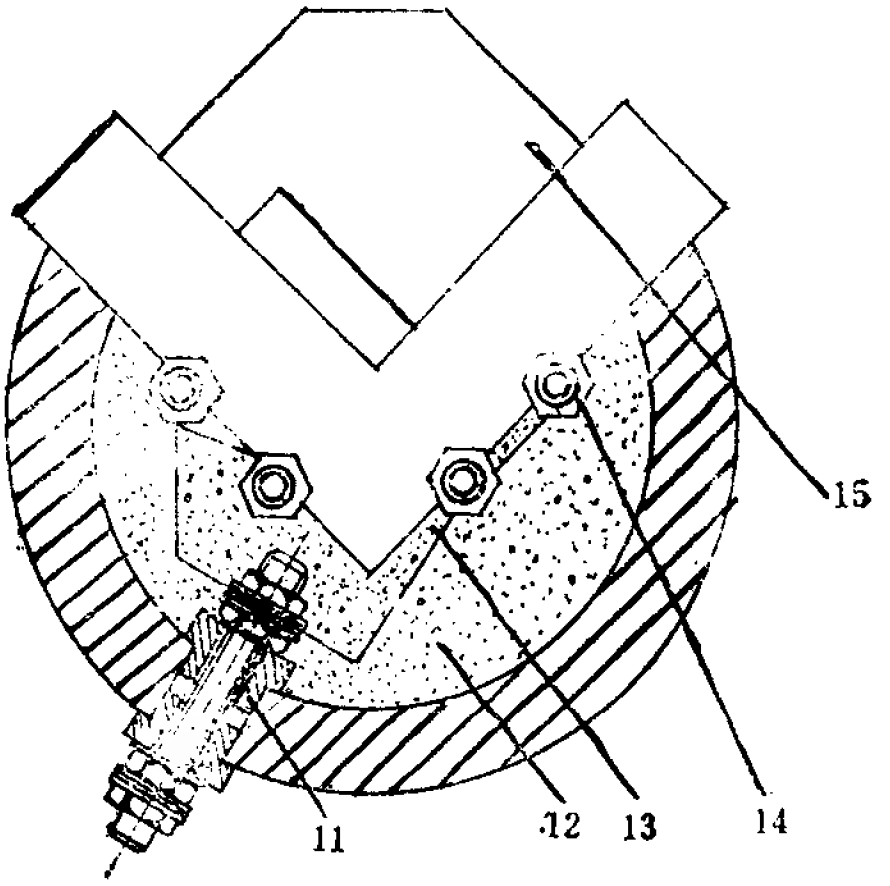


图2-22　通用热压模

1—台架　2—左右支架　3—固定卡兰　4—压头块　5—固定螺钉
6—螺杆　7—卡兰　8—下铁压模　9—加热容器　10—固定块
11—绝缘柱　12—保温石棉粉　13—引线　14—电热元件（1kW）
15—上铁压模

又增加搬运困难，所以又不能设计太大。设计上压模还要考虑在螺杆压紧时不要变形影响线圈外形尺寸和公差，也就是还要考虑强度问题、一般是采用铸铁制造，加工后工作面不许有砂眼，加工粗糙度要细于0.8▽。

（2）为了使线圈受热均匀，要求热压模比线圈做的长些，一般选2000mm左右为宜，上压模长度由热压线圈所需直线长度来定。为了节电和适应各种长度线圈的需要，也可做出两种基本规格的热压模，使下压模每边长度分别比最大和最小线圈长度长出300mm。

（3）加热元件选用自带绝缘的碳化硅加热元件，引接线要有绝缘措施，温度可达200℃以下，使用时一般用到160～180℃。

（4）卡兰沿线圈长度均匀分布，一般是每隔200mm左右安装一个。螺杆端部要有压头块，目的是使压力分布均匀。

（5）支架要求可调，可在支架上转动一定角度，目的是适应高压线圈各种不同的角度，用样板进行调整，调整好之后，要扭紧固定螺栓，压紧固定块，以防操作时发生松动现象。

〔2-17〕 重绕电动机绕组时怎样合理选用电磁线？

答：重绕电动机绕组选择电磁线时，要考虑原电动机的电磁线的耐热等级、机械强度、与绝缘漆的相容性等特性，同时要考虑实际负载情况，电动机工作环境等要求。然后根据不同的使用目的，合理选用电磁线是非常必要的。因为电磁线选择合理，可以保证和提高电动机使用寿命和运行的可靠性。在一般情况下是要保持电动机原来的电磁线牌号、规格，必要时才考虑改进。

（1）电动机常用漆包电磁线。常用圆及扁漆包线型号、耐热等级如表2-5所示。高强度聚酯漆包扁线最大绝缘厚度如表2-6所示。

① 缩醛漆包铜线广泛应用在普通E级绝缘电动机上，具有较好的机械强度、弹性和附着力，可用高速绕线机绕制线圈，同时耐热冲击和化学性能良好。但这种漆包线受弯曲、伸长以及浸

表2-5 电动机常用型及扁漆包线型号和耐热等级

序号	名　　称	型　　号	耐热等级	标准代号
1	缩醛漆包线	QQ	E级　120℃	GB6109.3-85
2	聚酯漆包线	QZ/130	F级　130℃	GB6109.7-90
3	改性聚酯漆包线	QZ/155	F级　155℃	GB6109.2-90
4	改性聚酯亚胺漆包线	QZY/180	H级　180℃	GB6109.5-88
5	聚酯酰亚胺漆包线	QZY、QXY/200	C级　200℃	GB6109.13-90
6	聚酰亚胺漆包线	QY/220	C级　210℃	GB6109.6-88
7	缩醛漆包扁线	QQB	B级　120℃	GB7095.2-86
8	改性聚酯漆包扁线	QZB/155	F级　155℃	GB7095.3-86
9	聚酯亚胺漆包扁线	QZYB/180	H级　180℃	GB7095.4-86
10	改性聚酯酰胺酰亚胺漆包扁线	Q(Z/XY)/200	H级　200℃	—
11	聚酰亚胺漆包扁线	QYB/220	C级　220℃	GB7095.5-86

表2-6 高强度聚酯漆包扁铜线最大绝缘厚度

扁铜线标称尺寸(mm)		最大绝缘厚度*(mm)	
*a*边尺寸	*b*边尺寸	*A-a*	*B-b*
0.8～0.9	2.0～2.83	0.09	0.11
	3.05～4.4		0.12
	4.7～10.0		0.14
1.0～1.16	2.0～2.83	0.10	0.12
	3.05～4.4		0.13
	4.7～10.0		0.15
1.25～1.95	2.0～2.83	0.11	0.12
	3.05～4.4		0.13
	4.7～10.0		0.15
2.10～2.83	2.0～2.83	0.12	0.12
	3.06～4.4		0.13
	4.7～10.0		0.15

续表

扁铝线标称尺寸(mm)		最大绝缘厚度*(mm)	
a边尺寸	b边尺寸	A-a	B-b
1.18 1.25～1.95	3.28～4.4	0.11 0.12	0.14
2.1 2.26～2.83	4.7～5.1	0.13 0.14	0.16

注：*.A-a为a边绝缘厚度；B-b为 b 边绝缘厚度。各种扁线绝缘厚度的表示方法如图所示。

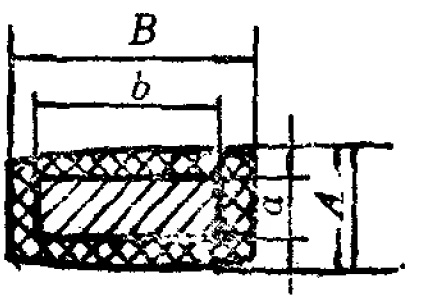


表2-6插图 扁线绝缘厚度表示方法

水和溶剂后易产生微细裂纹，通过130℃、30min 的烘焙才可消除裂纹。这种漆包线对于耐苯、醇体系的混合溶剂性能较差，使用时应考虑浸渍漆中的溶剂和稀释剂的选用问题。通常采用1032绝缘漆或改性1032绝缘漆是可以的。

② 聚酯漆包铜线属B级，改性聚酯漆包铜线属F级，它们广泛应用于B级和F级电动机绕组上，具有良好的机械性能和较高的耐热性能，可用高速绕线机绕制线圈，但聚酯漆包铜线的耐热冲击性能及耐潮性能较差。

③ 聚酯亚胺漆包铜线属F级绝缘导线，具有良好的耐热性、耐磨、耐油、耐苯乙烯、耐氟-12等性能，但耐氟-22性能较差，在封闭系统中应避免与含氯的材料接触，如氯丁橡胶、聚氯乙烯等，应选用相适应的耐热等级的浸渍漆。

④ 聚酰胺酰亚胺漆包铜线可用于重载电动机、牵引电动机、电动工具、制冷系统用的电动机上，属H级，其耐热性能、机械性能、耐化学性能以及耐氟-22性能均良好。

⑤ 聚酰亚胺漆包铜线广泛应用于耐高温、耐酷寒、耐辐射

的电动机绕组上，它具有较高的使用温度、能忍受大幅度的温度骤变，耐化学、耐油、耐溶剂及耐氟-12和氟-22性能，但其漆膜的耐磨性较差，所以不宜用高速绕线机绕制绕线。另外，不耐碱。使用有机硅浸渍漆和芳香族聚酰亚胺浸渍漆能够得到较好的性能。

（2）电动机常用的绕包线。绕包线的特点是具有较高的电性能、机械性能和防潮性能。它的绝缘层比漆包线厚，可以承受过电压和过载。

绕包线有薄膜绕包线、玻璃丝包线、玻璃丝包漆包线等。一般用在大中型电动机的绕组上。

薄膜绕包线有聚酯薄膜绕包线和聚酰亚胺薄膜绕包线。玻璃丝包线中有单玻璃丝包和双玻璃丝包两种。另外，由于浸渍处理所用的胶粘绝缘漆不同，又有醇酸胶粘漆浸渍和硅有机胶粘漆浸渍两种。电动机常用绕包线种类、特点及主要用途在表 2-7 中列出。表 2-8 表示绕包线型号及规格。表 2-9 表示双玻璃丝包扁铝线、扁铜线和聚酯漆双玻璃丝包线最大绝缘厚度。表2-10列出硅有机漆浸渍双玻璃丝包扁铜线的最大绝缘厚度。

表2-7 电动机常用绕包线种类、特点及主要用途

类别	名称	型号	耐热等级	优点	局限性	主要用途
薄膜绕包线	玻璃丝包聚酯薄膜绕包扁铜线		E	(1)耐电压击穿性好 (2)绝缘层的机械强度高	绝缘层较厚	用于大型高压电动机的线圈
玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线	双玻璃丝包圆铜线	SBEC	B	(1)过负荷性优 (2)耐电晕性优	(1) 弯曲性较差 (2) 耐潮性较差 (3) 绝缘层较厚	用于发电机、中大型电动机、牵引电动机的绕组
	双玻璃丝包圆铝线	SBELC				
	双玻璃丝包扁铜线	SBECB				
	双玻璃丝包扁铝线	SBELCB				

续表

类别	名称	型号	耐热等级	优点	局限性	主要用途
玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线	单玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBCB	B	(1)过负荷性优 (2)耐电晕性优 (3)耐潮性好	(1)弯曲性较差 (2)绝缘层较厚	用于发电机、大中型电动机、特种电动机的绕组
	单玻璃丝包聚酯漆包扁铝线	QZSBLCB				
	双玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBECB				
	双玻璃丝包聚酯漆包扁铝线	QZSBELCB				
	单玻璃丝包聚酯漆包圆铜线	QZSBC				
薄膜绕包线	聚酰亚胺薄膜绕包圆铜线	Y	H	(1)耐热性及耐低温性优 (2)在高温时耐电压击穿性好 (3)绝缘层比玻璃丝包线薄	在含水密封系统中易水解	用于高温运行的轧钢电动机、牵引电动机、矿井油泵电动机及其他特种电动机绕组
	聚酰亚胺薄膜绕包扁铜线	YB				
玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线	单玻璃丝包缩醛漆包圆铜线	QQSBC	E	(1)过负荷性优 (2)耐电晕性优 (3)耐潮性优	弯曲性较差	适用于高速中小型电动机的绕组
	双玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYSBEFB	F	(1)过负荷性强 (2)耐电晕性优 (3)耐潮性优	弯曲性较差	适用于高温电动机和制冷设备电动机绕组
	单玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYSBFB				
	硅有机漆双玻璃丝包圆铜线	SBEG	H	(1)过负荷性优 (2)耐电晕性优 (3)用硅有机漆浸渍改进了耐水耐潮性	(1)弯曲性较差 (2)硅有机浸渍漆的粘合能力差，绝缘层的机械强度较差	适用于发电机、高温负荷电动机、牵引电动机、制冷设备电动机、密封式电动机及其他特种电动机的绕组
	硅有机漆双玻璃丝包扁铜线	SBEGB				

续表

类别	名　　称	型　　号	耐热等级	优　　点	局限性	主要用途
玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线	双玻璃丝包聚酰亚胺漆包扁铜线	QYSBEGB	H	(1)过负荷性优 (2)耐电晕性优 (3)耐溯性优	弯曲性较差	同上
	单玻璃丝包聚酰亚胺漆包扁铜线	QYSBGB				

表2-8　绕包线型号及规格

型　　号	规格(mm)	型　　号	规格(mm)
Y	2.5～6.0	QZSBELCB	*a*边 9～5 6
YB	*a*边2.0～5.6		*b*边2.0～18.0
	*b*边2.0～16.0	QZSBC	0.53～2.50
SBEC	0.25～6.0	QQSBC	0.53～2.50
SBELC	0.25～6.0	QZYSBEFB	*a*边0.9～5.6
SBECB	*a*边0.9～5.6		*b*边2.0～18.0
	*b*边2.0～18.0	QZYSBFB	*a*边0.9～5.6
SBELCB	*a*边0.9～5.6		*b*边2.0～18.0
	*b*边2.0～18.0	SBEG	0.25～6.0
QZSBCB	*a*边0.9～5.6	SBEGB	*a*边0.9～5.6
	*b*边2.0～18.0		*b*边2.0～13 0
QZSBLCB	*a*边0.9～5 6	QYSBEGB	*a*边0.9～5.6
	*b*边2.0～18.0		*b*边2.0～18.0
QZSBECB	*a*边0.9～5.6	QYSBGB	*a*边0.9～5.6
	*b*边2.0～18 0		*b*边2.0～18.0

表2-9　双玻璃丝包扁铝线、双玻璃丝包扁铜线和聚酯漆双玻璃丝包线

扁线标称尺寸(mm)		最大绝缘厚度 (mm)			
		双玻璃丝包		聚酯漆双玻璃丝包	
*a*边尺寸	*b*边尺寸	*A-a*	*B-b*	*A-a*	*B-b*
0.9～1.95	2.1～5.9	0.35	0.27	0.44	0.36
	6.0～8.0	0.39		0.46	0.36
	8.6～14.5	0.45		—	—

续表

扁线标称尺寸(mm)		最大绝缘厚度（mm）			
		双玻璃丝包		聚脂漆双玻璃丝包	
a边尺寸	b边尺寸	A-a	B-b	A-a	B-b
2.1～3.8	2.1～10.0	0.41	0.33	0.50	0.42
	10.8～14.5	0.44		—	—
4.1～5.5	4.1～10.0	0.48	0.40	0.57	0.49
	10.8～14.5	0.53		—	—

表2-10 硅有机漆浸渍双玻璃丝包扁铜线

扁铜线标称尺寸(mm)		最大绝缘厚度(mm)	
a边尺寸	b边尺寸	A-a	B-b
0.9～1.95	2.1～2.83	0.35	0.31
	3.05～4.4		0.32
	4.7～5.9		
	6.4～8.0	0.39	0.34
	8.6～9.3	0.45	
	10.0～14.5		0.36
2.1～3.8	2.1～2.83	0.41	0.37
	3.05～4.4		0.38
	4.7～5.9		0.40
	6.4～8.0		
	8.6～9.3		
	10.0～14.5	0.44	0.42
4.10～5.5	2.1～2.83	0.48	0.44
	3.05～4.4		0.45
	4.7～5.9		0.47
	6.4～8.0		
	8.6～9.3		
	10.0～14.5	0.53	0.49

这些电磁线的优点：①散热能力强；②承受过电压、过负载的能力强，可靠性高；③尤其薄膜绕包线由于无针孔，所以具有更高的电气强度和机械强度，因此修理电动机时可优先选用。

上述电磁线的耐热等级取决于粘结漆、漆包线的漆层、薄膜的耐热等级，以其中最低的耐热等级做为电磁线的耐热等级。

（3）特种电磁线。特种电磁线有：①聚酰亚胺薄膜氟4、6复合绕包线，MYF、MYEB，具有极高的电气强度、机械强度和耐腐蚀性能。耐热等级220°C；②自粘性漆包线，有聚氨酯/自粘层漆包线；自粘性玻璃丝包线等。

〔2-18〕 修理低压交流电动机时，如何选用绝缘材料？

答：修理新系列电动机（如Y系列电动机）可按原电动机绝缘材料规格选用，在不需改造的一般情况下，可不必再改变原来规格，但对于修理老系列电动机，则必需选用现代先进的绝缘材料，因为老系列电动机所用的绝缘材料已不生产，无法再选用，也有的虽然生产但已落后，所以要进行选用。

（1）低压电动机（660V以下）常用的薄膜材料有两种：

① 聚酯薄膜。按JB1256-77规定，这种绝缘材料型号有6020（透明薄膜）和6021（不透明薄膜）两种。在各种薄膜中，这种薄膜机械强度最高，化学性能稳定，电气强度也较高，价格低廉。因此，广泛用做电动机槽绝缘、相间绝缘等。常用的聚酯薄膜厚度为0.05mm和0.1mm两种，常与其他材料复合应用。

② 聚酰亚胺薄膜。按JB2726-80规定，这种绝缘材料可长期承受220°C的工作温度。型号为6050。这种薄膜的特点：能在−269～400°C范围应用，可见耐温性能很好。同时具有柔软、强韧、耐化学性能、耐介电强度和机械强度较好等优点。因此，广泛应用在工作条件恶劣的F级和H级绝缘的电动机上。在电动机上使用的薄膜厚度有0.025mm和0.05mm、0.10mm等几种。缺点是价格太贵，耐碱性和耐水性较差。为了降低修理成本，这种绝缘材料不可轻易选用。

（2）常用的合成纤维纸材料：

① 聚酯非织布。这种绝缘材料具有良好的机械性能、耐热性能和介电性能，价格较便宜，其抗拉强度为15～20MPa，温度指标≥180°C。缺点是不阻燃，耐油和耐丙酮性能较差。可以单独做绑扎带和做为柔软复合材料、云母带的补强材料。

② 聚芳酰胺纤维纸。这种绝缘纸耐热性能好，可长期工作在220°C下达10年以上，并且具有较高的电气强度和机械强度，化学稳定性好，能耐酸、耐碱、耐辐射、阻燃，并能与各种油漆、粘合剂、制冷剂相容，所以相容性也好。因此，广泛应用于导线绕包、匝间垫层、槽绝缘、相间绝缘以及引线绝缘等。

③ 聚酰酰胺纤维纸。这种纸具有聚芳酰胺纤维纸的优点，同时其性能接近进口的相类似的绝缘材料。如美国杜邦公司出品的NOMEX 绝缘纸，完全可以代替，可节省大量外汇。

④ 聚芳酰胺聚酯纤维纸。这种绝缘纸的温度指标大于155°C，所以可做F级绝缘，成本较低。

⑤ 聚酰酰胺聚酯纤维纸。与聚芳酰胺聚酯纤维纸相似，F级绝缘，价格低廉。

⑥ 恶二唑纤维纸。也属F级，目前产量小，应用也较少。

（3）常用柔软复合材料：

① 聚酯薄膜绝缘纸柔软复合材料。属E级绝缘，曾应用在JO2系列电动机的槽、相绝缘等方面，型号为6520。这种材料吸潮性大，易发霉，不适于潮湿地区使用，随着E级绝缘电动机被淘汰，目前很少使用，修理这种电动机时应改用B级的DMD绝缘材料。

② 聚酯薄膜纤维非织布柔软复合材料。型号为6630（JB 4060-85），简称DMD，用于B级绝缘电动机的槽绝缘、端部绝缘和层间绝缘，以及匝间绝缘、衬垫绝缘等，可用于湿热地带。由于6630的柔软复合材料中的聚酯薄膜太厚，柔软性差，不适于手工嵌线。最近又增加新品种6630 A，其中聚酯薄膜较薄，适于手工嵌线的中小型电动机绝缘。由于修理电动机单位大部分是手工嵌线，所以优先选用6630 A型材料。

③ 聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料（NMN）和聚酯薄膜聚砜酰胺纤维纸柔软复合材料（SMS）。这两种材料均属F级绝缘，型号为6640（JB4061-85），可用在运行条件苛刻的F级电动机的槽绝缘、端部绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘上。

④ 聚酯薄膜聚芳酰胺聚酯纤维纸柔软复合材料（ADMAD）和聚酯薄膜聚砜酰胺聚酯纤维纸柔软复合材料（SDMSD）。均属于F级绝缘，由于成本比NMN和SMS较低，所以，得到广泛地应用。可做为起重、防爆型F级电动机使用，性能满足F级绝缘水平的要求。

⑤ 聚酯薄膜恶二唑纤维纸柔软复合材料（OMO）。其性能和绝缘等级与NMN相近，但使用较少。

⑥ F级DMD，用于F级电动机绝缘，价格低廉，可降低电动机修理成本。

⑦ 聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料（NHN）。型号6630（JB4062-85），属H级绝缘，可长期在220°C下工作，可用于最恶劣的环境中工作，价格较高。

⑧ 聚酰亚胺薄膜聚砜酰胺纤维纸柔软复合材料（SHS）。属H级绝缘，与NHN的性能类似。

〔2-19〕 电动机修理时如何选择绕组的绑扎材料？

答： 电动机运行时，电动机绕组要承受电磁场和机械设备作用而产生的电磁力和机械力，尤其当电动机处于故障短路时，电动机绕组要承受高出正常的几十到上百倍的电磁力，会使绕组产生很大的振动、变形和发生位移。处于铁心槽内的绕组由于有铁心槽、绝缘和绝缘漆的固定，这种振动和位移会受到控制，得到力的抵消和平衡，但绕组端部如果仅靠绝缘漆的粘结是固定不牢的，必需进行必要的绑扎，否则会发生匝间短路或接地故障。尤其转子绕组的端部还承受离心力的作用，更容易使端部绕组移动和松散，因此要用绑扎办法来加强绕组端部的刚度和坚固性。可见，如何合理地选择电动机绕组绑扎材料是保证电动机运行可靠性的关键。电动机修理常用的绕组绑扎材料及其选用介绍如下。

（1）无碱玻璃丝带及其套管。这种绑扎材料耐热性好，其耐热等级取决于所浸渍的绝缘漆的绝缘等级。在操作这种未经浸渍的无碱玻璃丝带时易起毛，对操作者的皮肤有刺激作用，同时玻璃丝带质脆易断，延伸率低，摩擦系数小，易打滑和抽丝。做成的无碱玻璃丝套管要比玻璃丝带好些。为了防止操作者受害，可将无碱玻璃丝带浸上稀漆（漆浓度低于10s，4号福特杯测量，不经烘干）使用，但劳动条件差些。

（2）聚酯纺织带及其套管。这种绑扎材料强度高，有一定延

表2-11　线圈端部绑扎材料规格及绑扎道数

涤纶绳外径 ϕ(mm)	电动机机座号	电动机极数
10	11 12	4、6、8、10、 6、8、10
12	11	2
	12	4
	13 14	6、8、10、12
16	12	2
	13	4
	14 15	6、8、10、12
18	15	

端部长度(mm)	每端端箍数量	每端线圈之间连锁绑扎道数	
		上层线	下层线
≤120	0	0	0
121～150	1	0	0
151～180	1	1	0
181～230	1	1	1
231～300	1	1	1
301～350	2	2	2
>350	3	3	3

伸性，耐摩擦和耐碰撞，透漆性和浸渍性较好，并且有热收缩能力，对操作者皮肤无刺激性，普遍应用于B、F级绕组绑扎方面。

（3）涤纶带。这种绑扎带普遍应用在B级绝缘电动机绕组端部绑扎上，抗拉强度较高，无刺激性。缺点是无热收缩性，摩擦力小，易打滑，绑扎时收尾难。绑扎规格及绑扎道数如表2-11所示。

（4）聚酯短纤维纺织带(PST带)。这种绑扎带强度最高，有热收缩能力，摩擦力大，不易打滑和变形，用在F级电动机上。缺点是价格比无碱玻璃丝带略贵。

（5）聚酯无纺带。这种绑扎带种类有P-1型、B-1型、R型夹纱柔软带等。有热收缩性，因不需编织故成本较低，但强度和柔软性较差，耐热性也比PST带差些。

（6）无纬绑扎带。这是我国60年代开发的产品，主要绑扎交流电动机转子绕组端部，代替以往的钢丝绑扎方式。其特点是绑扎工艺简单、不导磁、不导电，固化后强度能满足工艺要求。常见的有两大类：普通无纬带、网状无纬带。

① 普通无纬带：按JB3332-89标准生产的种类有2830、2840、2850等，分别用在B级、F级和H级电动机上。B级有聚酯无纬绑扎带、F级有环氧无纬绑扎带、H级有聚二苯醚无纬绑扎带和双马来酰亚胺无纬绑扎带。这种带缺点是固化前强度不高，不能承受较大的拉力（最大拉力500N左右），另外开卷时容易粘丝和抽丝，利用率较低。常用的无纬带物理性能如表2-12所示。无纬带绑扎固化工艺见表2-13所示。

② 网状无纬带：这是我国最近研制的新型无纬带，有2843-W、2844-W、2845-W、2851-W型等，由于横向拉开时为网状结构，所以整体性好，容易开卷，无粘丝、抽丝现象，特别是在固化前拉伸强度较高，可提高绑扎拉力，高达1000～2000N，从而保证绑扎质量，可以代替进口的无纬带，节省外汇支出。网状无纬带在5 ℃下可保存一年，25℃下为4个月，使用前应提前一天从冷库中取出，在10℃以上环境中使用，以防断丝。

〔2-20〕 中小型交流电动机（380V，B级）定子绕组绝缘规

表2-12 常用无纬带物理性能

名称	含胶量(%)	抗拉强度(MPa)			绝缘等级	贮存期		规格
		常温	130°C	180°C		室温	0°C	
聚酯型	27±3	800	60%～65%		B	3个月		0.17mm厚10～15mm宽，常用规格为0.17×25mm
环氧B型	25±2	900	60%～65%		F		半个月	
环氧H型	25±2	800		60%～65%	F		1个月	
聚芳烷基醚酚型	27	6000		开始6000经10min后为500	H		6个月	
聚胺酰亚胺型	32				H		1个月	

表2-13 无纬带绑扎固化工艺

项目	聚酯型	环氧B型	环氧H型	聚芳烷基醚酚型	聚胺酰亚胺型
转子预热温度(°C)	80～100	60～80	60～80		70～80
0.17×25无纬带缠绕拉力(N)	200～500	200～500	200～500		
固化程序	80～90°C, 2h 110～120°C, 2h 135±5°C, 17～20h	80～90°C, 2h 110～120°C, 2h 135±5°C, 15～17h	80～90°C, 2h 110～120°C, 2h 160°C, 6h 180°C, 17～20h (或200°C, 6h)	80°C, 2h 100°C, 2h 120°C, 2h 160°C, 2h 180°C, 14～15h	80°C, 2h 120°C, 2h 140°C, 2h 160°C, 2h 180°C, 2h 200°C, 2h
备注	冷却至160°C以下再浸漆	冷却到180°C以下浸漆			

范内容有哪些？

答：中小型交流电动机定子绕组均采用散嵌软绕组，电磁线选用QZ-2型高强度聚酯漆包圆铜线，其绝缘漆膜比QZ-1型的较厚，所以都选用QZ-2型。槽绝缘是采用复合绝缘材料，如DMDM或DMD、DMD+M等。D表示聚酯纤维无纺布，M表示6020聚酯薄膜。

槽绝缘厚度的选择，JO2系列电动机按机座号不同其厚度不同，而Y系列电动机是按电动机中心高度不同而异，可按表2-14选择。

表2-14　槽绝缘厚度

电动机机座号（JO2系列）	中心高度（mm）（Y系列）	槽绝缘结构及总厚度（mm）			槽绝缘均匀伸出铁心两端的长度（mm）
		DMDM	DMD+M	DMD	
1～3号	80～112	0.25(0.22)	0.25(0.2+0.05)	0.25	6～7
4～5号	132～160	0.30(0.27)	0.30(0.25+0.05)		7～10
6～9号	180～280	0.35(0.42)	0.35(0.3+0.05)		12～15

注：DMDM格中括号内数值是JO2系列原来的绝缘厚度

相间绝缘材料和厚度与槽绝缘相同。对于双层绕组的层间绝缘所用绝缘材料和厚度也与槽绝缘相同。

电动机槽楔采用冲压成型的MDB复合槽楔（俗称软槽楔）或B级引拔槽楔，或者用3240环氧酚醛层压玻璃布板槽楔。

对于Y系列电动机，中心高在80～160 mm范围内采用0.5～0.6mm厚的复合槽楔；中心高在180～280mm范围内电动机采用0.6～0.8mm复合槽楔。冲压成型的复合槽楔长度和槽绝缘相同，3240层压板槽楔厚度为2mm，长度应比槽绝缘短4～6 mm。

槽楔下垫条的长度和槽绝缘相同。

绕组引接线采用JBQ型丁腈橡胶电缆，其接头用0.15mm厚的醇酸玻璃漆布带或聚酯薄膜半叠包一层，外面再套醇酸玻璃漆管一层。如没有大规格的醇酸玻璃漆管，也可用醇酸玻璃漆布带半叠包两层，外用0.1mm厚的无碱玻璃纤维带半叠包一层。

端部绑扎采用聚酯纤维编织套管（或编织带），或者用无碱纤维带包扎。对于中心高为80～132mm的电动机，定子绕组端部每两槽绑扎一道；中心高为160～280mm的电动机，每一槽绑扎一道。对于中心高为180mm的2极电动机及中心高为200～280mm的2极和4极电动机，线圈鼻端用无碱玻璃丝带半叠包一层。

在有引线的一端应把电缆和接头处同时绑扎牢，必要时，应在此端增加绑扎道数。

槽楔推力：对于MDM槽楔，为244N；对于3240玻璃布板(2mm厚)槽楔，为247N；对于红钢纸槽楔，推力为155N。

MDB中，M指6020聚酯薄膜；D指聚酯纤维无纺布；B指玻璃布。

成本比较，假定MDM成本为1，则3240槽楔成本为2.07，可见后者比前者贵2倍多。但使用MDB时要注意，当尺寸不合适时，易产生偏转现象，在插入槽内时也易磨破槽绝缘。

〔2-21〕 中小型交流电动机（500V，B级）定子分片嵌绕组的绝缘规范内容有哪些？

答：

（1）电磁线。电磁线采用双玻璃丝包醇酸扁铜线(SBECB)或采用裸铜线绕制，匝间采用0.08mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

（2）线圈绝缘：

① 同相线圈。两边半排线圈的直线部分采用0.1mm厚的无碱玻璃丝带疏包一层，而半排线圈的端部是从直线的10～15mm（见图2-23）处开始，用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层，包后浸1032绝缘漆。

② 异相线圈。两边半排线圈的直线部分和端部均用0.1mm厚的无碱玻璃丝带疏包一层，经浸1032漆后，再从直线10mm处开始用0.15mm厚的醇酸玻璃漆带半叠包一层。最外层用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

（3）槽楔。槽楔采用3240环氧酚醛玻璃布板，每边伸出铁心的长度为10～15mm。

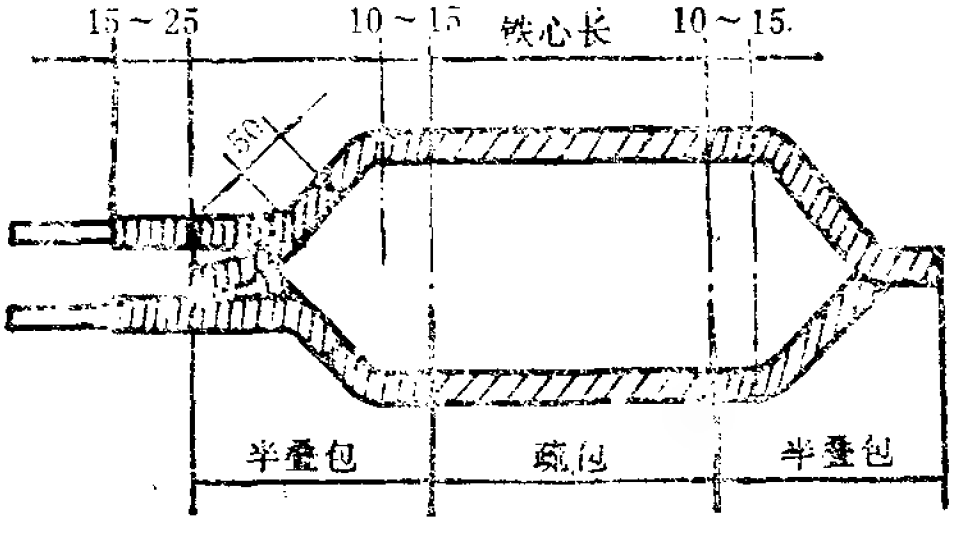


图2-23　半排线圈端部包扎位置

（4）槽绝缘。槽绝缘采用DMDM复合绝缘纸，厚度按电动机容量选用，一般取0.27～0.35mm。槽绝缘伸出铁心的长度为12～18mm。

（5）层间垫条、楔下垫条及槽底垫条。层间、楔下及槽底的垫条均采用3240环氧酚醛玻璃布板制作，其中层间垫条厚度为1mm，一层；楔下垫条厚度为0.5mm，一层；槽底垫条厚度为0.5mm，一层。层间垫条和槽底垫条均伸出铁心的长度为15～25mm，宽度比槽宽小0.5mm左右；而楔下垫条伸出铁心的长度为10～15mm。

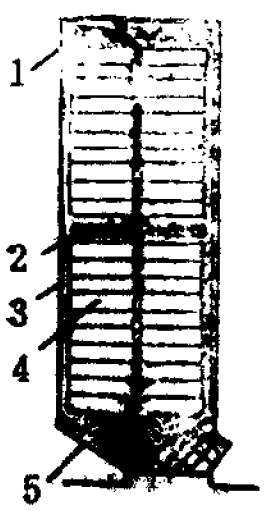
（6）端箍绝缘。端箍绝缘采用0.15mm厚2432醇酸玻璃漆带半叠包3层，最外边再半叠包一层无碱玻璃丝带，最后浸1032漆一次。

（7）线圈引出头绝缘。线圈引出头绝缘离鼻端15～25mm处开始，一直到斜边50mm为止，用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层，外部再套一层2730玻璃丝漆管。

（8）连接线、引出线绝缘。极相组间连接线和相内线圈间连接线，均采用0.15mm厚2432醇酸玻璃漆带半叠包，层数为2～3层，并在外层半叠包一层无碱玻璃丝带。

引出线选用JBX型500V的丁基橡皮绝缘线。分片绕组绝缘结构和槽内安配示例，见表2-15。

表2-15　分别嵌绕组的绝缘结构和槽内装配表
（中心高355～400mm，E级）

绝缘结构图	图中序号	名　称	宽　度（mm）	高　度（mm）	伸出铁心的长度（单边，mm）
	4	电磁线	$2b$	an	
		医　纸	0.2	0.4	
		松散及公差	0.2	$0.1n$	
	3	槽绝缘	2(0.45)	3(0.45)	15
	2	层间垫条	—	2.0	13
	1	槽底垫条	—	0.5～1.0	13
	5	槽　楔	—	3.0～4.0	12.5
		装配间隙	0.4	0.4	
		铁心叠压偏差	0.4	0.4	

注：a、b—扁电磁线的厚度和宽度。n—沿槽高方向的导线总根数。

〔2-22〕中小型绕线转子异步电动机转子绕组的绝缘规范内容有哪些？

答：以往绕线转子绕组有散嵌线绕组和转子插入式绕组两种，小容量电动机转子绕组是散嵌线绕组，所以采用圆铜导线；大中容量电动机转子绕组是采用插入式铜导条绕组。

目前推广的Y系列电动机，对于YR系列(IP44)H132～28^{0}mm和(IP23)H160mm电动机转子绕组采用圆铜导线，散嵌双层短距叠绕组，如图2-24所示。YR系列(IP44)H200～280mm和(IP23)H180～280mm电动机转子绕组均采用扁铜导线，散嵌双层短距叠绕组，如图2-25所示。端部结构如图2-26示。

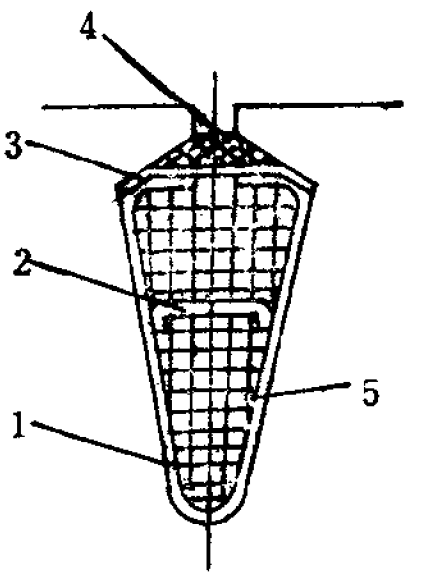


图2-24　YR系列(IP44)H132～280mm和(IP23)H160mm电动机绝缘结构

1—槽绝缘　2—层间绝缘　3—盖槽绝缘　4—槽楔　5—绕组

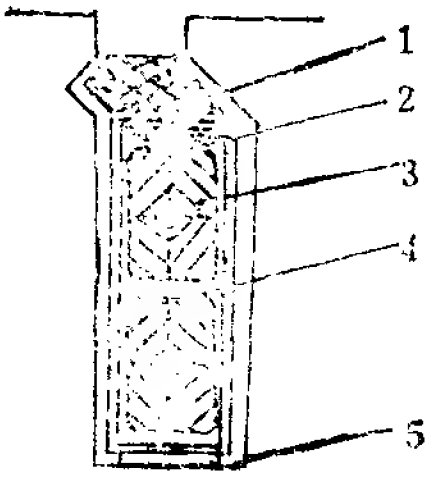


图2-25　YR系列(IP44)H200～280mm和(IP23)H180～280mm电动机绝缘结构

1—槽楔　2—槽绝缘　3—线组
4—层间绝缘　5—槽底绝缘

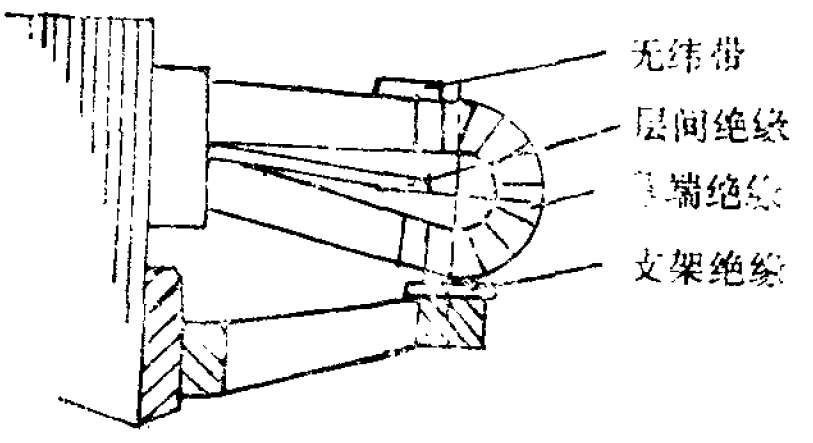


图2-26　YR系列电动机端部绝缘结构

由于老系列电动机（如JR、JZR、JZR2等）转子绕组耐温不够，经常发生过热故障，在修理时都把转子绕组绝缘等级提升到F、H级。表2-16是F级绝缘结构，表2-17是H级绝缘结构。

表2-16　F级绝缘结构

电磁线	散嵌线绕组	聚酯亚胺漆包线
	转子插入式绕组	亚胺薄膜绕包的双玻璃丝包扁铜线
槽绝缘		F级DMCF1复合绝缘纸加一层聚酰亚胺薄膜
相间、层间绝缘		与槽绝缘相同
槽楔		3240环氧酚醛玻璃布板
引出线电缆线		JFEH乙丙橡胶线
转子绕组绑扎带		环氧无纬绑扎带
套管		2751硅橡胶玻璃管
插入式线圈绕包		聚酰亚胺薄膜上胶带或双马来聚酰亚胺粘合剂涂在聚酯亚胺薄膜上

表2-17　H级绝缘结构

电磁线	散嵌线绕组	聚酰胺酰亚胺漆包圆铜线
	成型绕组转子插入式绕组	单玻璃丝包聚酰胺酰亚胺漆包扁铜线；双亚胺薄膜绕包的双玻璃丝包扁铜线
槽绝缘		聚酰亚胺薄膜一层(0.05mm)；聚酰亚胺薄膜与聚砜纤维纸一层(0.35mm)
相间、层间绝缘		与槽绝缘相同
槽楔		双马来聚酰亚胺层压板或二苯醚玻璃层压板
引出电缆线		硅橡胶电缆或改性硅橡胶电缆
转子绕组绑扎带		单或双层马来无纬带
套管		硅橡胶玻璃丝套管或定纹玻璃丝套管
插入式线圈绕包		同F级绝缘

YR系列电动机转子绕组B级绝缘规范如表2-18所示。

表2-18　YR转子绕组B级绝缘规范　(mm)

绝缘名称	材料		适用范围(中心高)	
			YR(IP44)	YR(IP23)
电磁线	QZ-2高强度聚酯漆包圆铜线		132～280	160
	QZB高强度聚酯漆包扁铜线		200～280	180～280
槽楔	3240环氧玻璃布板 2		132～280	160～225
	3240环氧玻璃布板2.5			250～280
槽绝缘	DMDM、DMD＋M或DMD＋DMD	0.35	132～160	—
		0.40	180～280	160～280
层间绝缘	DMDM、DMD＋M或DMD＋DMD	0.35	132～160	
		0.40	180～280	160
	3240环氧玻璃布板	1.5	200～280	180～280
槽底绝缘	3240环氧玻璃布板	0.30	200～280	
		0.50		180～280

续表

绝缘名称	材料	适用范围(中心高)	
		YR(IP44)	YR(IP23)
支架绝缘	0.30/DMD三层，宽度比支撑面宽3～5，用无碱玻璃丝带扎紧	132～280	160～280
相间绝缘	0.30/DMD一层	132～280	160
	0.15×15 醇酸玻璃漆布带半迭包二层（扁铜线隔相下层斜边）	200～280	180～280
鼻端匝间加强绝缘	0.15×15醇酸玻璃漆布带半迭包一层包到斜边三分之一处	200～280	180～280
鼻端包扎绝缘	0.15×25酸醇玻璃漆布带半迭包一层，包到斜边三分之一处	200～280	180～280
绝缘垫块	1.5或2.0绝缘纸板	200～280	180～280
端部打箍	0.17×25聚酯型无纬玻璃丝带	132～280	160～280
引出电缆	JBQ 型丁腈橡胶电缆	132～280	160～280
相间连接线绝缘	相与相间用绝缘套管作垫条，以 1/3240 狭条衬垫，在连接线内外圈处用0.15×25醇酸玻璃漆布带半迭包一层	200～280	180～280
中点连接环绝缘	0.15×25醇酸玻璃漆布带半迭包二层	132～280	160～280
引出线接头处绝缘	0.15×25醇酸玻璃漆布带半迭包二层	132～280	160～280
绑扎线	ϕ6无碱玻璃丝套管、蜡线10支—128	132～280	160～280
连接线与中点连接环接头处绝缘	0.15×25醇酸玻璃漆布带半迭包二层	132～280	160～280
集电环	4330-2 酚醛玻璃纤维压塑料	132～280	160～280
绝缘浸渍漆	1032 沉浸二次或 B、F 通用无溶剂漆沉浸一次	132～280	160～280
出线套管	醇酸玻璃漆管	132～280	160～280

〔2-23〕 高压电动机（3 kV，B级）定子绕组的绝缘规范内容有哪些？

答：

（1）线圈匝间绝缘。电磁线采用玻璃丝包扁铜线，如果利

用旧铜线时，可用0.08mm厚的无碱玻璃丝带包半叠包一层做为匝间绝缘。要求加强匝间绝缘时，可采用0.14～0.17mm厚的醇酸云母带条连续垫入，如N绕法（N绕法即指双排非并绕线圈，可在排间垫入。对于单排和双排并绕线圈一般不需加强。

将垫好匝间绝缘的线圈，用0.08mm厚的无碱玻璃丝带疏包一层，紧固成型，并浸1032漆，半固化。

（2）引线绝缘。引线采用JBX或BXR6000V级橡皮绝缘软线电缆，外层绝缘采用0.05mm厚的聚酯薄膜半叠1～2层。

（3）极相组内连接线。极相组内连接线采用0.14mm厚的三合一粉云母带半叠包6～7层，外层绝缘采用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

（4）极相组间连接线。极相组间连接线采用0.14mm厚的三合一粉云母带半叠包7～8层，外层绝缘采用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

（5）端箍绝缘。端箍绝缘采用0.14mm厚的醇酸云母带(或三合一粉云母带）半叠包4～5层后，外部再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层，并涂1032漆一次，最后烘干处理。

（6）端箍圈支撑绝缘。端箍支撑绝缘采用0.14mm厚醇酸云母带（或三合一粉云母带）半叠包2层后，再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

〔2-24〕 高压电动机（6kV，B级)定子绕组的绝缘规范内容有哪些？

答：

（1）导线绝缘。导线采用双玻璃丝包扁铜线，或双玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线，或利用旧裸扁铜线时，采用0.14mm厚的三合一粉云母带半叠包一层。

（2）匝间加强绝缘。当采用双玻璃丝包扁铜线绕制线圈时，需要包好匝间绝缘。其方法有：

① 绕线圈时，在匝间垫入0.17mm厚的云母带垫条1～2层或0.14mm厚的三合一粉云母带1～2层。

② 在绕制线圈时，采用0.5mm厚的绝缘纸垫条作为临时垫条留出匝间间隙。待线圈成型后，去掉临时垫条，再用0.14mm厚的三合一粉云母带每一匝或隔匝半叠包一层。采用隔匝包时，需在端部每层错开搭接的位置，搭接重叠长度为25mm左右。

③ 对于N绕法线圈，是在两个半排间垫入0.14mm厚的粉云母带一层。两排的串联接线需用硬焊料焊接，外部包0.14mm厚的三合一粉云母带一层和0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

包好匝间绝缘后，再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带平包一层，最后将线圈包成整体后浸1032绝缘漆一次，并烘干处理。

为了使匝间绝缘成型，形成整体，尚需进行匝间模压处理。其方法有：

① 在130℃的热压模上进行热压，约30min后，冷却出模。

② 直线部分涂环氧酚醛树脂胶后进行热压，热压温度为150℃左右，压10～15min后再冷却到30℃脱模。上述树脂胶配方是：6101环氧树脂和5121酚醛树脂按6:4配制。

（3）引线绝缘。如图2-27所示，自线圈斜边的中间处到引线端头距离线圈鼻端15～20mm处，先用0.14mm厚的粉云母带半叠包4层，然后半叠包一层0.1mm厚的无碱玻璃丝带。引线绝缘的两端应呈锥体形，内锥体长度为60～70mm，外锥体长度为10～15mm。导线截面积在50mm^{2}以上的引线根部，在包完对地绝缘后，还要用经浸1032稀漆的ϕ2mm无碱玻璃丝绳绑扎，绑扎宽度为15～20mm。

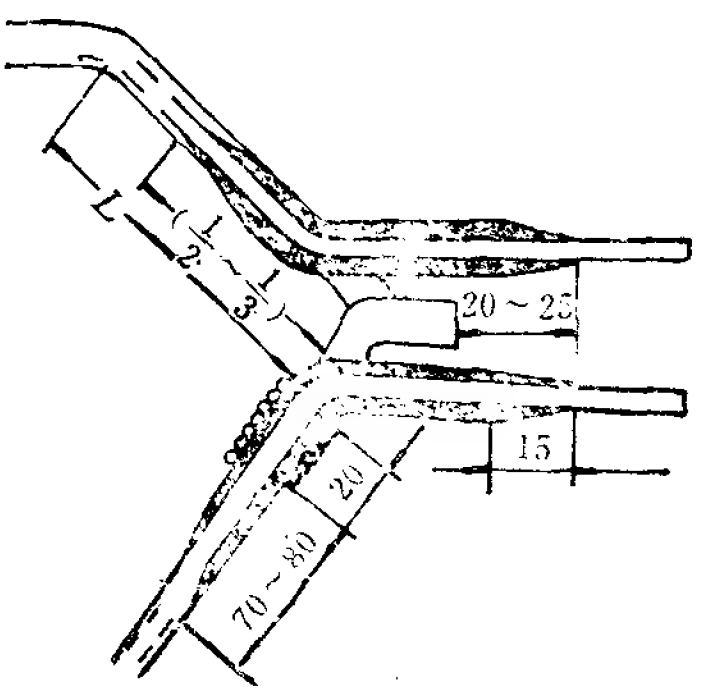


图2-27 6000V线圈引线绝缘包扎

（4）线圈对地绝缘：

① 线圈直线部分先采用0.14mm厚的5438-1粉云母带

半叠包9～11层后，再用0.04mm厚的热缩性聚酯薄膜带半叠包一层。在包扎中要求粉云母带包扎紧密、均匀，并符合工艺要求。

② 线圈端部采用0.14mm厚的5438-1粉云母带半叠包7～9层，外部再用0.04mm厚的热缩性聚酯薄膜带半叠包一层。

③ 对地绝缘采用低温真空干燥半固化处理，其方法如下。

（a）线圈进入真空罐后，在50～60℃下保温40min，抽真空10min，保持真空度9.3kPa（700mmHg）以上。

（b）在75～85℃下保温40min，抽真空10min，保持真空度9.3kPa以上。

（c）在95～105℃下保温40min，抽真空10min，保持真空度9.3kPa以上。

（d）在110～120℃下保温40min，抽真空10min，保持真空度9.3kPa以上。

④ 对地绝缘采用模压固化处理。首先在热压模上涂硅油脱模剂；然后将线圈在180±5℃的热压模上加压。先初压10min后，再加全压并保温30min；然后冷却压模30min左右，当温度达40℃左右就可脱模；最后进行校直处理。

（5）端部绝缘。采用涤纶护套玻璃丝绳或无纬带进行线圈端部绑扎。如果线圈之间间隙较大，可在间隙间垫入无形毡垫。然后经浸1032漆后固化。1032漆可用来代替以往用绝缘纸板或3240玻璃布板加工的“H”形垫片。

（6）端箍绝缘。首先将钢箍除锈擦拭干净后，涂以1032绝缘漆一次，并进行烘干；然后用0.14mm厚的醇酸云母带或三合一粉云母带半叠包5～6层，再用0.1mm厚的玻璃丝带半叠包一层；最后浸1032漆一次，并经烘干处理。端箍圈支架绝缘先用0.14mm厚的醇酸云母带或三合一粉云母带半叠包2层，再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包2层，最后涂刷1032绝缘漆一次，并经烘干处理。

（7）连接线绝缘，

① 相组内连接线是采用0.15mm厚2432玻璃漆带半叠包6～7层后，再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

② 极相组间连接线是采用0.15mm厚2432玻璃漆带半叠包7～8层后，再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

（8）引出线绝缘。引出线采用JBX或BXR 6000V级橡皮绝缘软线电缆，外部半叠包0.05mm厚的聚酯薄膜1～2层。

（9）槽楔及垫条：

① 槽楔采用3240玻璃布板制作。

② 楔下垫条采用0.5mm厚的3240玻璃布板制作，每端伸出铁心的长度为10～15mm，其宽度比槽宽小0.5mm。

③ 槽底垫条采用0.5～1.0mm厚的3240玻璃布板制作，每端伸出铁心的长度为20～25mm，其宽度比槽宽小0.5mm。

④ 层间垫条采用1.0～1.5mm厚的3240玻璃布板制作，每端伸出铁心的长度为40～50mm，其宽度比槽宽小0.5mm。

〔2-25〕 高压电动机（10kV，B级）定子绕组的绝缘规范内容有哪些？

答：

（1）线圈匝间绝缘。电磁线采用双或三玻璃丝包扁铜线，或双玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线。对于使用旧裸扁铜线时，可采用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

为了加强匝间绝缘，可采用0.14mm厚的三合一粉云母带半叠包扎每匝或平绕匝间，一般包扎1～2层。匝间绝缘包扎后，可用0.1mm厚的无碱玻璃丝带将线圈疏包一层，并包紧线圈成型。

包扎成型后，浸1032漆一次，并烘干和上压模进行模压。即将130℃左右的预热线圈放在压模上冷压30min。

（2）引线绝缘。如图2-28所示，在线圈斜边的$\frac{1}{2}$～$\frac{1}{3}$处至引线端头距线圈鼻端20～25mm处用0.14mm厚的粉云母带半叠包7～8层，并使引线两端呈锥体状。内锥长度为70～80mm，外锥长度为15mm左右。

如果线圈导线截面大于50mm²时，在引线根部要用浸过1032漆的φ2mm无碱玻璃丝绳绑扎，绑扎宽度为20mm左右。

（3）线圈对地绝缘：

① 线圈直线部分采用0.14mm厚5438-1环氧粉云母带半叠包13～15层。

② 线圈端部采用0.14mm厚5438-1环氧粉云母带半叠包11～13层。

线圈外层用0.04mm厚的热缩性聚酯薄膜带半叠包一层，鼻端采用2/3叠包。

③ 包扎后，线圈直线部分在热压模内固化成型。压模温度180±5℃时，初压保温10min后加压一次，再过10min后加上全压，最后经保温30min后脱模，冷却到40℃左右卸模。

如线圈对地绝缘采用低温真空干燥半固化处理，则其操作工艺要求为：在50～60℃下，保温40min，抽真空10min；在75～85℃下，保温40min，抽真空10min；在95～105℃下，保温40min，抽真空10min；在110～120℃下，保温40min，抽真空10min。以上各阶段真空度均为93.3kPa（700mmHg）以上。

（4）防晕处理：

① 所需材料为低阻的130环氧半导体漆，电阻为10^3～$10^{15}\Omega$；高阻的131环氧半导体漆，电阻为10^{10}～$10^{15}\Omega$。

② 如图2-29所示，从直线至两端斜边15mm处的线段，先

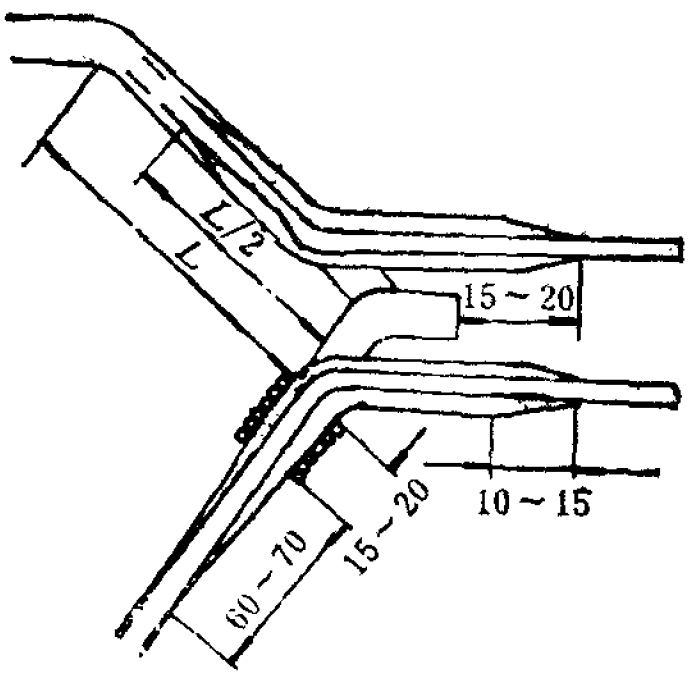


图2-28 引线包扎位置图

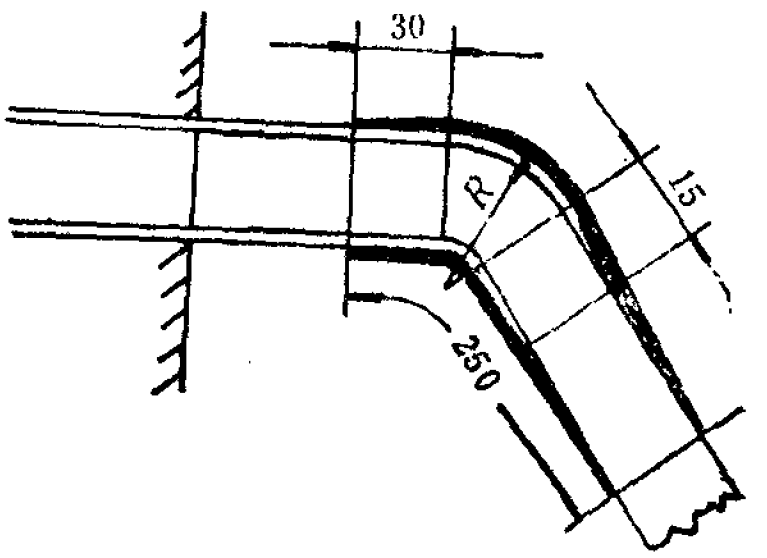


图2-29 防晕处理位置图

涂刷低阻的130环氧半导体漆一次；然后用经180℃、6 h 烘干脱蜡处理过的0.1×25 m m无碱玻璃丝带半叠包一层；最后涂一次130环氧半导体漆。线圈端部从直线 30 m m处到端部斜边 250 m m左右的端部，先涂刷高阻的 131 环氧半导体漆一次；然后仍用上述脱蜡过的无碱玻璃丝带半叠包一层；最后涂一次高阻的 131 半导体漆。要求浸透，并经烘干处理。

（5）端部绑扎绝缘。线圈之间采用涤纶护套无碱玻璃丝绳或无纬玻璃预浸胶带进行绑扎。当线圈之间的间隙大时，可塞入异形毡垫后经浸1032漆固化。

端箍圈经除锈后浸刷1032漆，经烘干后用0.14 m m厚的醇酸云母带半叠包 3 层，再用0.05 m m 厚的聚酯薄膜半叠包 2 层（如用三合一粉云母带包扎时，可不用聚酯薄膜带），最外层用 0.1 m m厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。最后浸1032漆一次，并经干燥处理。

（6）连接线绝缘：

① 极相组内连接线采用0.15 m m 厚2432玻璃漆布带半叠包 9～10层，最外层用0.1 m m 厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

② 极相组间连接线采用0.15 m m 厚2432玻璃漆布带半叠包 11～12层，最外层用0.1 m m 厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

以上采用的无碱玻璃丝带均应事先用稀的1032漆浸渍和干燥处理。

（7）槽楔及槽垫条：

① 槽楔采用3240环氧酚醛玻璃布板制作，每端伸出铁心的长度为15～20 m m。

② 楔下垫条采用0.5～1.0 m m 厚3241环氧半导体玻璃漆布板制作，每端伸出铁心的长度为15～20mm，宽度比槽宽小0.5mm。

③ 层间垫条采用1.0～1.5 m m 厚的 3241 玻璃漆布板制作，每端伸出铁心的长度为50～70 m m，宽度比槽宽小0.5 m m。

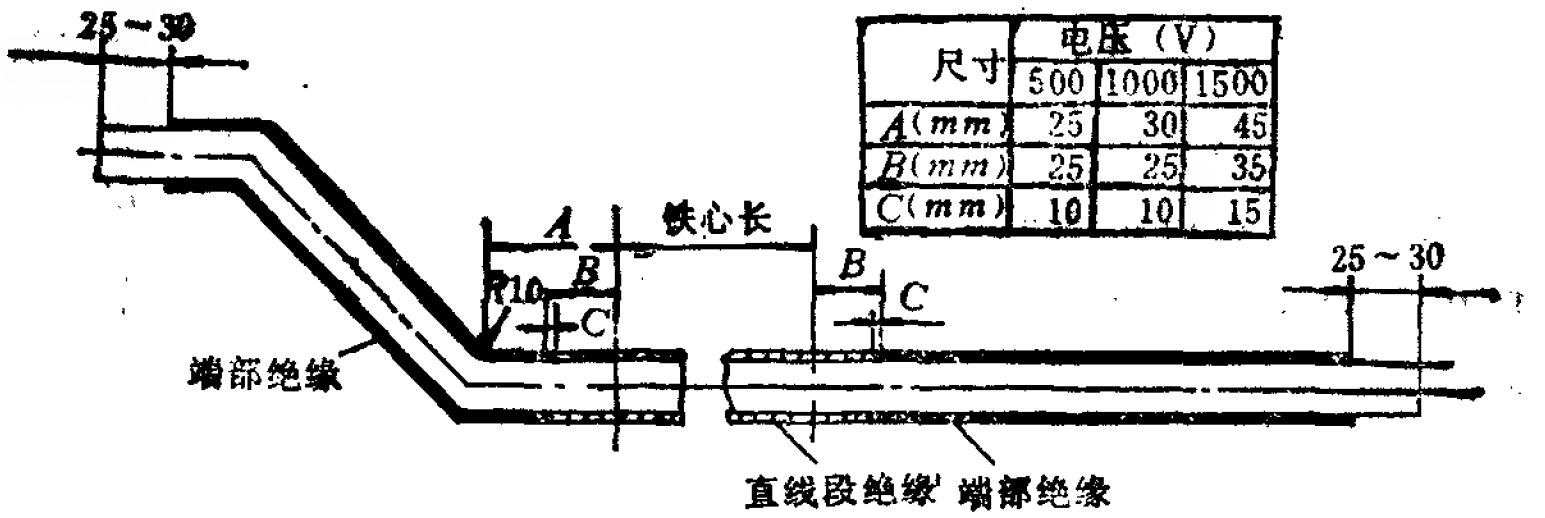
④ 槽底垫条采用1.0～2.0 m m 厚的3241玻璃漆布板制作，每端伸出铁心的长度为20～25 m m，宽度比槽宽小0.5 m m。

⑤ 槽中测温元件两面需垫1.0～1.5mm厚3241环氧半导体玻璃漆布板一层。

〔2-26〕 绕线转子导条绝缘规范内容有哪些？

答：转子导条是采用TBR型软扁铜线经卷包绝缘后烘压而成。表2-19列出电压等级分别为500V、1000V、1500V的B级绝缘的转子槽部绝缘结构。

转子端部、连接线及引出线的绝缘结构，见表2-20。插入式线棒的绝缘结构及其特点，见图2-30和表2-21。



尺寸	电压（V）		
	500	1000	1500
A(mm)	25	30	45
B(mm)	25	25	35
C(mm)	10	10	15

图2-30 插入式线棒的结构图

〔2-27〕 绕线转子端部绝缘和支架绝缘规范内容有哪些？

答：

（1）支架绝缘：

① 支圈式线圈支架绝缘，如图2-31所示。先在支圈上刷一层1032漆；然后用ϕ3mm无碱玻璃丝绳5将铺有0.17mm厚的聚酯薄膜玻璃漆布复合材料一层6绑扎在支架槽内，上面再铺放0.5mm厚的环氧酚醛玻璃布板7，所垫厚度以槽底相适应为准。再包上两层0.2mm厚的醇酸柔软云母板8，在云母板上再将复合材料6两边折包在绝缘板7、8上。最后在外边用0.1mm厚的无碱玻璃丝带10半叠包一层，其末端用环氧树脂胶粘牢。

工艺要求：支架绝缘宽度每边应伸出支圈5mm，绝缘厚度垫至与槽底相平；每层绝缘的接缝应错开，硬纸板对接，云母板搭接15mm左右，绝缘后的支架刷1032漆一次并烘干。

表2-19　转子槽部绝缘结构表

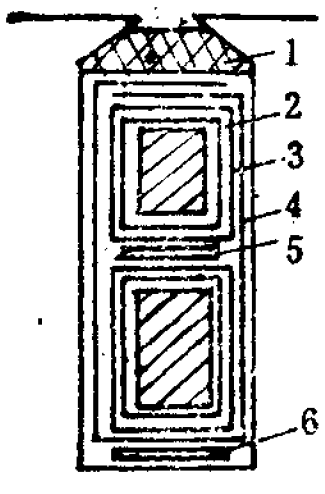
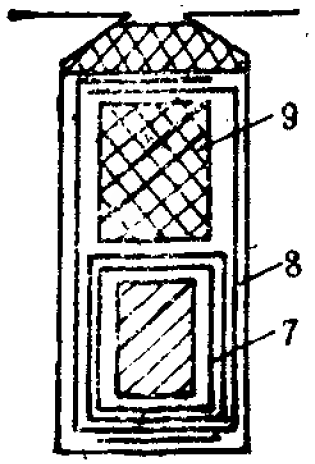
绝缘结构图	图中序号	绝缘件名称	材料	厚度(mm)	层数 500V	层数 1000V	层数 1500V	备注
	1	槽楔	3240环氧酚醛玻璃布板		1	1	1	每边伸出铁心的长度：500V 7～12.5mm；1000V、1500V 10～15mm
	2	铜排绝缘	5432醇酸绸云母板	0.14	2 1/4	3 1/4	4 1/4	(1)直部绝缘每边伸出槽口长度：500V 20～25mm；1000V 25～30mm；1500V 25～35mm (2)环氧胶合烘压 (3)可用2432玻璃漆布代用玻璃胚布 (4)铜排截面在50mm²以下，可采用包云母带连续绝缘
	3		环氧酚醛玻璃胚布	0.1	2 1/4	3 1/4	2 1/4	
	4	槽绝缘	2930聚酯薄膜黄玻璃漆布复合绝缘	0.17	1	1	1	(1)每边伸出铁心的长度：500V 7～12.5mm；1000V 10～15mm；1500V 10～15mm (2)可用2432黄玻璃漆布代替复合绝缘 (3)薄膜面靠铁心
	5	层间垫条	3240环氧酚醛玻璃布板	0.3～0.5	1	1	1	(1)每边伸出铁心的长度：500V 25～35mm；1000V 30～40mm；1500V 30～40mm (2)宽度比槽宽小1mm
	6	槽底垫条	3240环氧酚醛玻璃布板	0.3～0.5	1	1	1	(1)每边伸出铁心的长度：15～20mm (2) 宽度比槽宽小0.5mm
	7	换层线圈绝缘	5432醇酸绸云母带	0.14	半叠包3	半叠包3	半叠包4	直部和端部均包缠云母带连续式绝缘
	8		无碱玻璃丝带	0.08	半叠包1	半叠包1	半叠包1	
	9	槽垫块	3240环氧酚醛玻璃布板					

表2-20 转子端部、连接线及引出线绝缘结构表

图中序号	绝缘件名称	材料	厚度(mm)	层数			备注
				500V	1000V	1500V	
1	层间衬垫	无碱玻璃丝带	0.01	半叠包1	半叠包1	半叠包1	(1)绝缘宽度：自直线10～15mm处至距并头套3～5 mm处 (2)序号3夹于序号2之间
2		2432黄玻璃漆布	0.17	2	2	2	
3		5131醇酸玻璃柔软云母板	0.20	2	2	3	
4		无碱玻璃丝带	0.10	半叠包1	半叠包1	半叠包1	
5	支架绝缘	聚酯薄膜黄玻璃漆布复合绝缘	0.17	1	1	1	(1)序号5可用0.05mm厚的聚酯薄膜一层和0.15mm厚的玻璃漆布一层代替 (2)序号5薄膜面靠支架 (3)序号7以调节绝缘台高度为足量 (4)序号7、8比支圈宽10～20mm (5)绝缘台高度、最小不低于槽底3mm (6)几层绝缘板接头应分错开
6		玻璃丝绳或管	ϕ3.0				
7		3240环氧醛酚玻璃布板	0.50	足量	足量	足量	
8		5133(或5131)醇酸柔软云母板	0.20	2	2	2	
9		无碱玻璃丝带	0.10	半叠包1	半叠包1	半叠包1	
10	钢丝箍下绝缘	无碱玻璃丝带	0.10	半叠包1	半叠包1	半叠包1	(1)序号11可用2432玻璃漆布一层及聚酯薄膜一层代替 (2)序号11薄膜面向上 (3)序号12夹于序号11之间 (4)绝缘宽度：每边比钢丝箍宽5～10mm (5)序号13最小均分4段以上
11		聚酯薄膜玻璃漆布复合绝缘	0.17	2	2	2	
12		5131醇酸玻璃柔软云母板	0.20	2	2	2	
13		电工绝缘纸板	1.0～1.5	1	1	1	

续表

图中序号	绝缘件名称	材料	厚度(mm)	层数 500V	层数 1000V	层数 1500V	备注
14	线圈绝缘	2432醇酸绸云母带	0.14	半叠包2	半叠包3	半叠包3	(1)在直线10～15mm处与直部绝缘搭头 (2)距并头套3～5mm (3)序号14可用5033沥青绸云母带代替
15		无碱玻璃丝带	0.10	半叠包1	半叠包1	半叠包1	
16	连接线、中性线	2432黄玻璃漆带	0.15	半叠包2	半叠包3	半叠包3	在与固定处的夹件间加热
17		无碱玻璃丝带	0.10	半叠包1	半叠包1	半叠包1	1.0～1.2mm厚的绝缘纸板
18	并头套	2432黄玻璃漆带	0.15	半叠包2	半叠包2	半叠包2	
19		无碱玻璃丝带	0.10	半叠包3	半叠包3	半叠包4	
20	引出线	500V丁基橡皮绝缘线		不另包绝缘	半叠包2432玻璃漆带一层	半叠包2432玻璃漆带一层	铜排直接作为引出线的绝缘与连接线相同

绝缘结构图

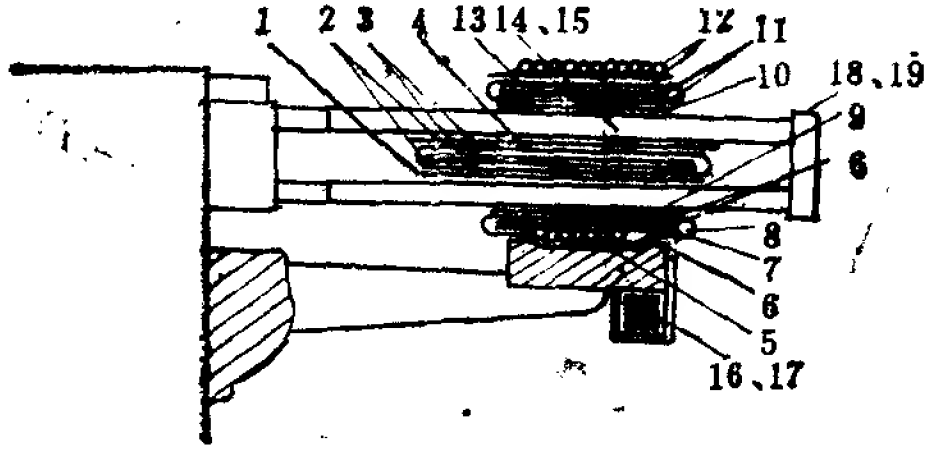


表2-21 插入式线捧的绝缘结构及其特点表

部位	绝缘结构 类别	绝缘结构 绝缘材料	用于各种电压等级的层数或厚度 500V	1000V	1500V	特点
直线段	1	0.17mm厚的薄膜玻璃粉云母箔(卷烘①)	3 1/2 层③	4 1/2 层	5 1/2 层	电气强度高
	2	0.15mm厚的粉云母箔 + 0.10mm厚的玻璃胚布 (卷烘①)	2 1/2 层 3 1/2	3 1/2 层 3 1/2	4 1/2 层 4 1/2	机械强度高
	3	0.14mm厚的环氧玻璃粉云母带半叠包(烘压②)	2层	3层	4层	
	4	粉末树脂涂敷(直线和斜边一次涂敷)	单面厚度 0.5mm	—	—	生产率高，但需专门设备
	5	水乳性改性聚酯电泳涂漆(直线和斜边一次电泳)	单面厚度 0.2～0.3mm	—	—	生产效率高，但需专门设备，电气强度较低
斜边	1	0.15mm厚的玻璃漆布带半叠包	1层	2层	2层	绝缘电阻较低
	2	0.17mm厚的薄膜玻璃粉云母带半叠包	1层	1 1/2 层②	2层	绝缘电阻较高
	3	0.13mm厚的玻璃片云母带半叠包	1层	2层	2层	可靠性高
	以上3种形式外面均半叠包0.1mm厚的玻璃丝带		1层	1层	1层	

① 卷烘：指需热卷包后冷压，卷包机的温度应使云母粘合剂呈胶体状态，热卷时间10～30s，云母箔和胚布一次卷成。

② 烘压：指绕包后需热压固化。

③ 卷烘绝缘“1/2”层指重叠在宽边；半叠包绝缘“1/2”层指平包一层。

图2-31中的第丝槽下面绝缘结构情况为：序号10为0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层，序号11为0.17mm厚的聚酯薄膜玻璃漆布复合绝缘包2层或用DMD复合绝缘纸包2层，序号12为0.2mm厚的醇酸柔软云母板2层并夹在序号11中，序号13为1.0～1.2mm厚的钢纸板一层。

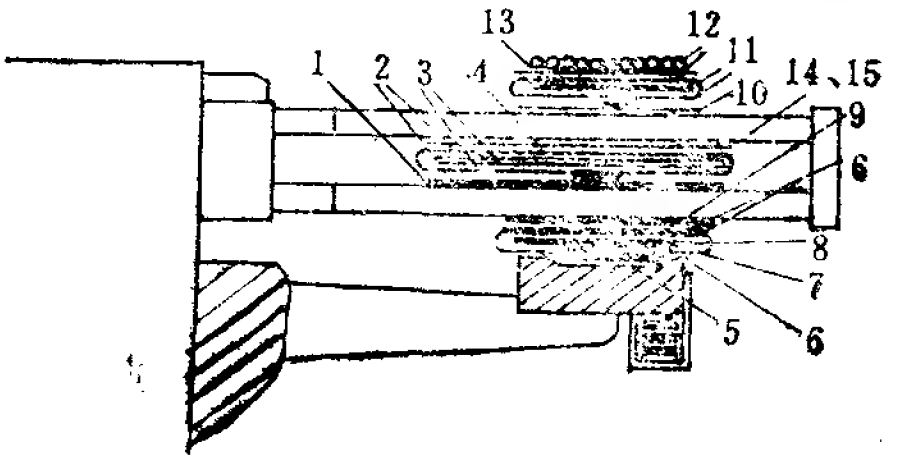


图2-31　线圈支架绝缘图

1、4—无碱玻璃丝带　2—钢纸板　3—柔软云母纸　5—无碱玻璃绳　6—复合材料　7—双氧酚醛玻璃布板　8、12—柔软云母板　9、11—绝缘纸板　10—无碱玻璃丝带　13—钢纸板　14—转子导线　15—导线绝缘

如改用无纬带绑扎时，其工艺如下：

首先将转子预热至60～80℃，线圈表面涂刷一层1032绝缘漆；然后进行无纬带绑扎工作，直到所需厚度为止。2极电动机转子的无纬带绑扎要压住转子绕组并头套的一半宽度。无纬带规格可采用0.17×25mm聚酯-B型无碱玻璃丝带或环氧-B型无碱玻璃丝带。最后进行烘干处理。

② 压圈式整体支架绝缘，如图2-32所示。先在支架上涂刷一层1032漆，然后用0.1mm厚的无碱玻璃丝带1平绕一层，再用0.8～1.0mm厚的经浸漆处理的钢纸板2垫至所需厚度，并用0.2mm厚的醇酸柔软云母板3垫两层，最后用0.1mm厚的无碱玻璃丝带4半叠绕一层。

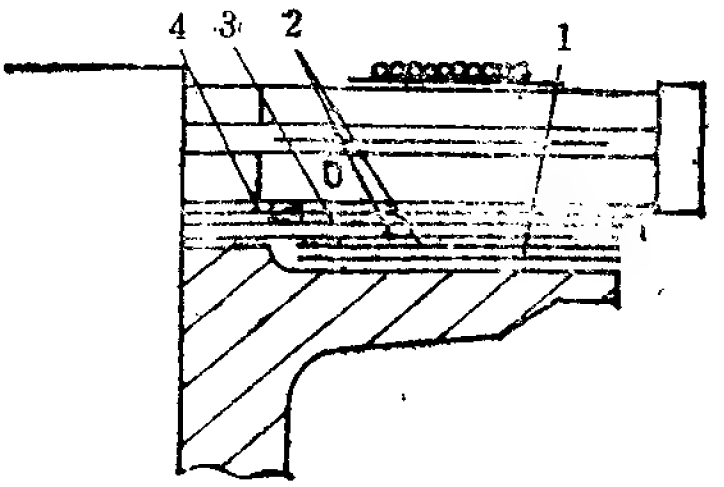


图2-32　压圈式整体支架绝缘

1—无碱玻璃丝带　2—钢纸板　3—柔软云母板　4—无碱玻璃丝带

工艺要求同支圈式线圈支架绝缘。

（2）端部层间绝缘。先在转子端部线圈的斜边的上下线层之间用0.1mm厚的无碱玻璃丝带1半叠包一层，并压紧线圈；然后围垫2层，并且在0.17mm厚的玻璃漆布2中夹入0.15mm厚的醇酸玻璃柔软云母板2～3层。最后用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。层间绝缘宽度为自直线10mm处往外至距并头套3～5mm处之间的宽度。

〔2-28〕 凸极同步电动机(500V，B级)磁极绝缘规范内容有哪些？

答：

（1）磁极线圈匝间绝缘。磁极线圈通常采用两种导线绕制，一种是用双玻璃丝包扁线绕制线圈；另一种是采用裸扁铜线绕成型线圈。

采用双玻璃丝包扁线绕制时，要求每层导线之间要涂刷一层环氧酚醛树脂漆，并且在模位处及始末的一匝上，用0.08～0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。线圈绕制绑扎压紧后，浸1032绝缘漆2次。

采用裸扁铜线绕制时，匝间要垫2层0.16mm厚的环氧酚醛玻璃坯布，最上和最下的各4匝间要垫3层，上下的始末一匝要用0.14mm厚5433醇酸玻璃云母带半叠包一层，最后再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

对于2极高速电动机，匝间要垫0.24mm厚的环氧酚醛玻璃胚布2层。

有时为了减少匝间短路事故，不采取垫匝间绝缘的方法，而是采用每匝以0.13mm厚的5438-1粉云母带半叠包一层，上下始末的一匝再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

（2）极身绝缘。如图2-33所示，极身绝缘制作工艺如下。

① 磁极铁心涂刷1032绝缘漆一层，并经烘干处理。

② 用0.16mm厚的环氧酚醛玻璃坯布半叠一层。

③ 垫上0.25mm厚5233（或5231)虫胶塑型云母板3～4层，然后进行烫包。

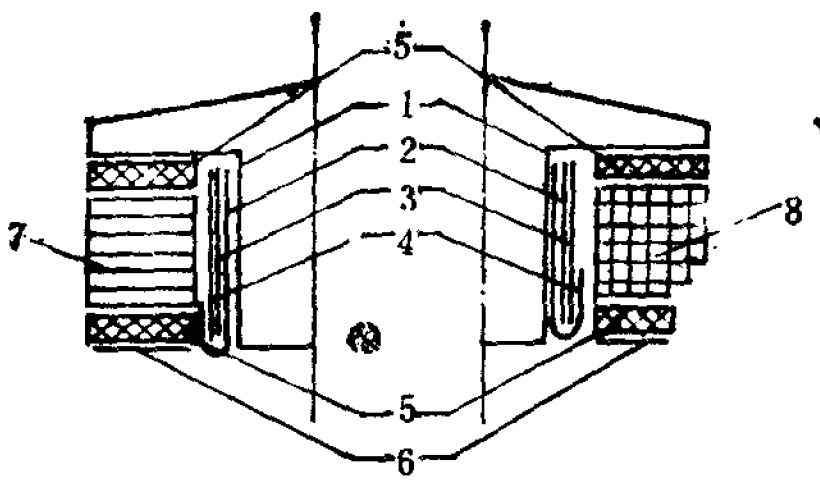


图2-33　极身绝缘结构图

1—绝缘漆　2—环氧酚醛玻璃胚布　3—虫胶塑型云母板　4—聚酯玻璃漆布复合绝缘　5、6—玻璃布板　7—裸扁铜线磁极线圈　8—双玻璃丝包扁线磁极线圈

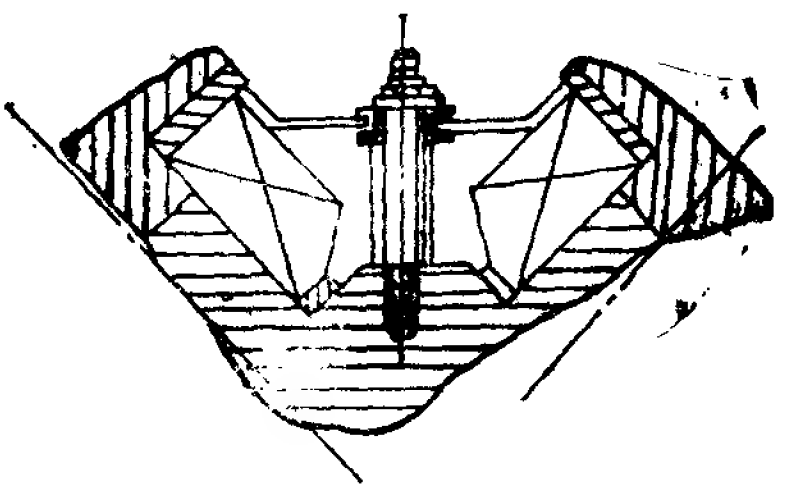


图2-3，　高速电动机极间连接线接头结构图

④　先垫上0.17mm厚的聚酯薄膜玻璃漆布复合绝缘一层，然后将0.16mm厚的环氧酚醛玻璃胚布翻转，最后进行烘压处理。

⑤　垫上4mm以上厚的3240玻璃布板一层。

⑥　最后用0.5～1.0mm厚的3240玻璃布板来调节厚度。

（3）极间连接线绝缘。采用0.05mm厚的聚酯薄膜带半叠包一层，再用0.14mm厚的5432（或5434）醇酸云母带半叠包2层，最外层再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

对于容量较大的高速电动机，极间连接线和电缆引出线的接头绝缘，应采用图2-34所示的结构为宜。

（4）引出线绝缘。对于铜排引出线，采用0.05mm厚的聚酯薄膜带半叠包一层，再用0.14mm厚的5432（或5434）醇酸云母带半叠包3层，最外层再用0.1mm厚的无碱玻璃丝带半叠包一层。

对于电缆引出线，可采用JBX或BXR橡皮软线电缆。

在线夹下面部位要加包0.15mm厚的黄玻璃漆带半叠包2层，并用足够厚度的电工绝缘纸板垫紧。

（5）极间支架绝缘。极间支架绝缘通常采用0.25mm厚的5231（或5232）塑性云母板2～3层，外包0.17mm厚2930薄膜涤布复合材料折叠成4层再包。靠支架面再垫上0.5mm厚3240玻璃布板一层。

对于高速大型电动机的极间支架，应采用图2-35所示的结构为宜。

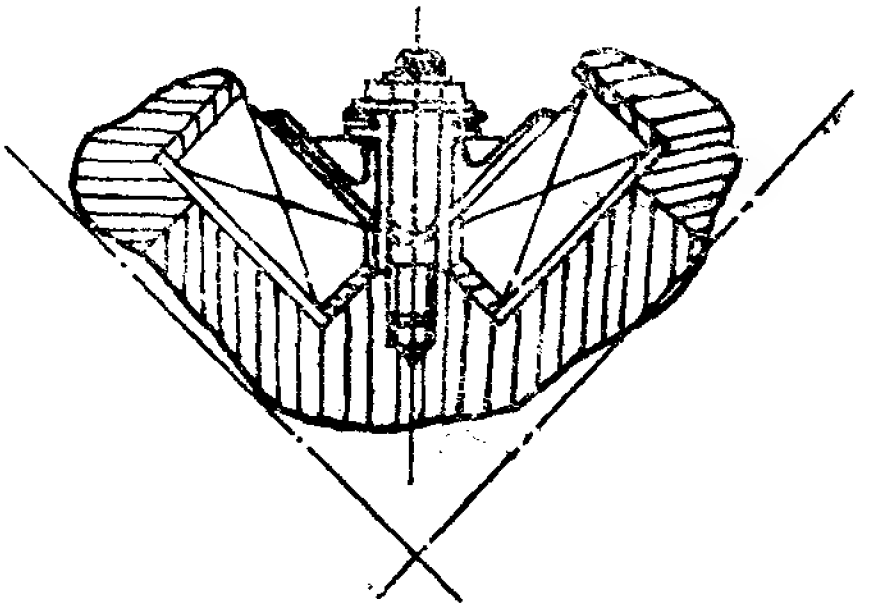


图2-35　高速大型电动机极间支架结构图

〔2-29〕 定子绕组匝数是如何确定的？

答：

（1）定子绕组每相匝数的确定。设施加在定子三相绕组的相电压为U，产生定子电流I_1，形成三相旋转磁场，此旋转磁场切割定子绕组，在定子绕组中感应电势E_1，E_1大小可用下式表达。

$$E_1=4.44fK_{dp1}W_1\phi\times10^{-4}$$

或

$$W_1=\frac{E_1\times10^4}{4.44fK_{dp1}\phi}$$

式中 E_1——定子相绕组感应电动势（V）

f——电源频率（Hz）

K_{dp1}——定子基波绕组系数

W_1——定子绕组每相匝数

ϕ——一个极的磁通（Wb）

感应电动势E_1被外施电压U和绕组阻抗压降所平衡，即$E_1=K_EU$。

式中 K_E——压降系数，与电动机功率和极数大小有关，可按表2-22查取。

为了简化计算，取$E_K=0.97$，则上式改写为：

表2-22　压降系数K_R

电动机功率	电　动　机　极　数			
(kW)	2	4	6	8
10以下	0.89～0.93	0.87～0.92	0.87～0.91	0.88～0.90
11～30	0.94～0.96	0.93～0.95	0.92～0.93	0.91～0.93
31～125	0.96～0.98	0.95～0.96	0.94～0.95	0.93～0.94

$$W_1=\frac{0.97U\times10^4}{4.44fK_{dp1}\phi}$$

磁通可写成下式

$$\phi=\frac{2}{\pi}B_\delta S_\delta$$

式中　B_δ——最大磁通密度，当磁通密度为正弦波时，其平均磁通密度为$\frac{2}{\pi}B_\delta$(T)

S_δ——一个极的铁心面积（cm^2）

可见按上式计算出来的磁通ϕ是一个极下的平均值。

$$S_\delta=\tau l_i=\frac{\pi D_{i1}}{2p}l_i$$

式中　τ——极距，$\tau=\frac{\pi D_{i1}}{2p}$，$\pi D_{i1}$是铁心内圆周长度

$2p$——电动机极数

D_{i1}——定子铁心内径（cm）

l_i——铁心有效计算长度（cm）

将此式代入上式，得到：

$$\phi=\frac{2}{\pi}\left(\frac{\pi D_{i1}}{2p}l_i\right)B_\delta=\frac{B_{i1}}{p}l_iB_\delta$$

为简化计算公式，令绕组系数$K_{dp1}=0.96$

又知$f=50$Hz，则得出W_1计算公式：

$$W_1=\frac{0.97U\times10^4}{4.44\times50\times0.96\times\frac{D_{i1}}{p}l_iB_\delta}=\frac{0.45Up\times10^4}{D_{i1}l_iB_\delta}$$

做为具体电动机，电压U、极对数p、定子铁心内径D_{i1}，铁心有效计算长度l_i均是常数，所以W_1只取决于B_δ，并且与B_δ成反比。在计算时，如果B_δ选大，则W_1可以小，省铜，但由于铁心饱和，铁耗增加；反之，如果B_δ选小，则要增加匝数，费铜，铁心不一定饱和，但铜耗要增加。

（2）定子每槽有效导体数的确定。设电动机相数为m，因为是三相电动机，所以$m=3$，已知相匝数为W_1，所以电动机总匝数为$mW_1=3W_1$。

又设电动机定子槽数为Z_1，槽对数为$\frac{Z_1}{2}$，每槽有效导体数为W_{sc}，则电动机总匝数为$W_{sc}\frac{Z_1}{2}$，所以$W_{sc}\frac{Z_1}{2}=3W_1$，得出：

$$W_{sc}=\frac{6}{Z_1}W_1$$，如果电动机有a条并联支路，

则
$$W_{sc}=\frac{6}{Z_1}W_1a$$

双层绕组，每槽有两个线圈边，所以每线圈匝数为$\frac{W_{sc}}{2}$，而单层绕组，每槽只有一个线圈边，所以每线圈匝数为W_{sc}。

现在把W_1公式代入上式，得出：

$$W_{sc}=\frac{2.7Up\times10^2a}{D_{i1}l_iZ_1B_\delta}$$

由上式看出，对于具体电动机$W_{sc}\propto\frac{1}{B_\delta}$。可见选择$B_\delta$的重要性，一般修理时可参考表2-23选用。

例1：有一台无铭牌空壳电动机，封闭式，要求配线圈，达到4极三相异步电动机。

测绘如下：$D_{i1}=16.2$cm；$Z_1=36$；$U=380$V；$a=1$；$p=2$；B_δ查表2-23，选0.75；$l_i=16$cm。计算如下：

表2-25　三相异步电动机气隙磁通密度B_δ值(T)

电动机型式 \ 电动机极数	2	4	6	8
开启式	0.63～0.75	0.7～0.8	0.7～0.8	0.7～0.8
封闭式	0.5～0.65	0.6～0.75	0.6～0.75	0.64～0.7

$$W_{sc}=\frac{2.7Up\times10^2a}{D_{i1}l_iZ_1B_\delta}=\frac{2.7\times380\times2\times10^2\times1}{16.2\times16\times36\times0.75}=29.3(\text{匝})$$

选择29匝、△接法、单层绕组，所以每线圈匝数W_{sc}为29匝。

例2：有一台无铭牌空壳电动机，开启式，要求配线圈，达到4极三相异步电动机。

测绘如下，$D_{i1}=21\text{cm}$、$l_{i1}=14.5\text{cm}$、$Z_1=36$、$p=2$、$a=1$、$U=380\text{V}$、选$B_\delta=0.75\text{T}$，代入公式：

$$W_{sc}=\frac{2.7\times380\times2\times10^2\times1}{21\times14.5\times36\times0.75}=24.9\ (\text{匝})，\text{选24匝}$$

△接法$a=1$，双层绕组，每线圈匝数为$\frac{W_{sc}}{2}$。

对于修理的电动机有各种年代和国家的产品，正确选择B_δ是困难的，有时重绕电动机时要反复几次调整线圈匝数。表2-23中给出的B_δ值可根据具体电动机进行选用，对于早年产品、硅钢片已陈旧或使用情况介绍空载电流偏高、过热等，可选择小值；反之，可选用大值。

电动机重绕后，可用空载电流I_0大小和短路电压U_K大小来判定选择B_δ的合理性。

当B_δ选大，则W_{sc}降低，空载电流超过正常值很多，电动机带载后易发热；当B_δ选小时，W_{sc}增多，使电动机堵转转矩和过载能力降低(即M_{max}降低）电动机不能正常起动和运行。一般要求M_{max}/M_N在1.8～2.1范围。M_{max}为电动机的最大转矩、M_N为额定转矩。

在电机学中得知，$M_{max}\propto\phi^2\propto B_\delta^2$。设电动机$M_{max}/M_N=1.8$，重绕线圈时$B_\delta$选小了，设选小10%，也就是磁通$\phi$降低10%，新的磁通$\phi'=0.9\phi$。

由$M_{max}\propto\phi^2$关系知，这时$M'_{max}=0.9^2M_{max}=0.81M'_{max}$，即新的最大转矩$M'_{max}$为原来的81%，说明$M'_{max}$降低19%。重绕后电动机的过载能力变为$1.8\times0.81=1.46$，显然，有可能拖不动设备运转。

一般电动机修理书中给出B_δ范围较广，而实际电动机要求I_0和U_K范围较窄，这是矛盾的，解决此矛盾只能求助于重绕后的电动机在浸漆之前做简单的空载堵转试验来判定。判定不合格者，再增减线圈匝数进行调节。

另外，有的修理单位有时盲目增加匝数以期降低空载电流。做空载试验时，只要空载电流小，电动机能转就算是修理合格了，显然这是错误的概念。

电动机绕组匝数增的过多，虽然I_0降低，但堵转电压U_K上升了，由于U_K过高，造成电动机额定温升增高，效率降低，堵转转矩和最大转矩降低，使电动机堵转特性和过载能力变坏，严重时电动机不能正常运行。比如平常有这样的经验，就是把△接法误接成Y接法，相当于重绕电动机增加$\sqrt{3}$倍的匝数，后果如何呢？如4kW三相异步电动机，正常时$I_0=3.5A$、$U_K=75V$，现在匝数增加$\sqrt{3}$倍，实测$I_0'=0.94A$，小了，而U_K却升到215V，显然$I_0'\ll I_0$，而$U_K'\gg U_K$。纠正接线改回△接后，再测I_0、U_K值都正常了。

堵转电压U_K范围对于低压380V电动机如表2-24所示，供试验时参考。

表2-24　堵转电压范围（380V）

电动机容量(kW)	0.6～1.0	1.0～7.5	7.5～13
堵转电压U_K(V)	90	75～85	75

2-30〕　空壳铁心配三相定子绕组时如何简易计算？

答：

（1）确定电动机的极数。

$$2p = \frac{D_{i1}}{1.8h_{o1}}$$

式中 D_{i1}——定子铁心内径（cm）

h_{o1}——定子铁心轭部高度（cm）

将计算出的数值选取一个接近的正偶数。

为了电动机重绕后起动性能良好、运行正常，要求下列不等式成立。

① 为防止改后的电动机出现“爬行”现象，要求：

$$Z_2 \neq p(3i+1)$$

$$Z_2 \neq p(3i)$$

② 为防止起动时发生卡住现象，要求：

$$Z_2 \neq Z_1 + \frac{p}{2}$$

$$Z_2 \neq Z_1 + p$$

$$Z_2 \neq 0.5Z_1 + \frac{p}{2}$$

$$Z_2 \neq 2Z_1 + p$$

③ 为防止电动机振动和噪声，要求：

$$Z_2 \neq p(3i \pm 1)$$

$$Z_2 \neq 3i \pm (p-1)$$

以上式中 i——自然整数，如1，2，3，4，……，n

p——电动机极对数

Z_1——定子槽数

Z_2——转子槽数

（2）估算电动机功率。根据电动机定子铁心长度、内径、极数和电动机型式，查阅国产同类型相近铁心尺寸的电动机进行比较，从而估算出电动机的近似功率。

对于早年和国外产品，可按下式估算电动机的额定功率。

$$P_N=\frac{(0.74\sim0.97)D_{i1}^2 l B_\delta A n_1}{10^8}\ (\mathrm{kW})$$

$$n_1=\frac{120f_1}{2p}\ (\mathrm{r/min})$$

上两式中 l——定子铁心长度（cm）

B_δ——气隙磁通密度（T），见表2-25

A——线负载（A/cm），见表2-25

n_1——电动机同步转速（r/min）

f_1——电源频率（Hz）

0.74～0.97——经验系数，容量大者选大值，反之取小值

表2-25 三相异步电动机气隙磁通密度 B_δ 和线负载A表

电动机参数		极距 τ (cm)		
		20以下	20～40	40～70
$2p=2$	B_δ(T)	0.50～0.60	0.60～0.65	0.65～0.68
$2p=2$	A(A/cm)	120～200	200～300	300～420
$2p=4$	B_δ(T)	0.65～0.70	0.70～0.73	0.73～0.76
$2p=4$	A(A/cm)	200～300	300～380	380～460
$2p=6$	B_δ(T)	0.70～0.73	0.73～0.76	0.76～0.78
$2p=6$	A(A/cm)	220～320	320～380	380～460

（3）计算每槽导线根数：

① 根据气隙磁通密度计算每槽导体数为：

$$N_b=\frac{(1.12\sim1.23)U_\phi 2p\times10^2}{D_{i1}lZ_1B_\delta K_{dp1}}\ (\text{根/槽})$$

式中 U_ϕ——相电压（V）

K_{dp1}——定子绕组系数

具有通风道的定子铁心，其长度为：

$$l'=\text{铁心总长}-\frac{\text{通风道总长}}{2}\ (\text{cm})$$

② 根据齿部磁通密度计算每槽导体数为：

$$N_t=\frac{(3.82\sim4.21)U_\phi 2p\times10^2}{Z_1{}^2b_{t1}lB_{t1}K_{dp1}}\ (\text{根/槽})$$

式中 b_{t1}——齿宽的最窄处宽度（cm）

B_{t1}——定子齿磁密，一般取1.40～1.75T，不可超过1.80T

③ 根据轭部磁通密度计算每槽导体数为：

$$N_c=\frac{(1.27\sim1.39)U_\phi\times10^2}{Z_1h_{c1}lB_{c1}K_{dp1}}\ (\text{根/槽})$$

式中 h_{c1}——定子铁心轭高（cm）

B_{c1}——定子轭部磁密，一般取1.20～1.50T，不可超过1.70T

如果定子轭部具有不同厚度（如铁心只有轴向通风道或固定铁心的螺栓孔），其厚度按下式计算。

$$h_{c1}=\frac{h'_{c1}+h''_{c1}}{3}\ (\text{cm})$$

式中 h'_{c1}——轭部较薄处的厚度（cm）

h''_{c1}——轭部较厚处的厚度（cm）

按以上3种情况计算出的每槽导体数，可选其中导体数最多者，铁心磁通密度可按表2-26选取。在选取各部分磁通密度时，要考虑以下因素。

（a）开启式电动机选上限，封闭式电动机选中间值，防爆电机选下限。

（b）考虑电动机的冷却方式，冷却好的可选上限。

（c）定子有轴向通风孔的，轭部磁通密度B_{c1}可取1.80T；有些高速微电机，B_{c1}值可选得更高些。

（d）三相双层绕组短距系数可查表2-27，三相双层对称分数槽绕组的短距系数可检表2-28。

表2-26 铁心磁通密度表

电动机极数	磁通密度 (T)	定子铁心内径 (cm)		
		15以下	15～25	25以上
2	B_δ	0.6～0.67		
2～6		0.65～0.8	0.8～0.9	
2	B_{c1}	1.2～1.6	1.2～1.7	
2～6		1.1～1.5	1.2～1.5	1.3～1.5
不论极数多少，均取齿高1/3处	B_{t1}	1.3～1.5	1.5～1.8	

表2-27 三相双层绕组短距系数表

线圈节距	每极槽数												
	24	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
1—25	1.0												
1—24	0.998												
1—23	0.991												
1—22	0.981												
1—21	0.966												
1—20	0.947												
1—19	0.924	1.0											
1—18	0.897	0.996											
1—17	0.866	0.985	1.0										
1—16	0.832	0.966	0.995	1.0									
1—15	0.793	0.940	0.981	0.995	1.0								
1—14	0.752	0.906	0.956	0.978	0.994	1.0							
1—13	0.707	0.866	0.924	0.951	0.975	0.993	1.0						
1—12		0.809	0.882	0.914	0.944	0.971	0.991	1.0					
1—11		0.766	0.831	0.866	0.901	0.935	0.966	0.990	1.0				
1—10		0.707	0.773	0.809	0.847	0.884	0.924	0.960	0.988	1.0			
1—9			0.707	0.743	0.782	0.833	0.866	0.910	0.951	0.985	1.0		
1—8				0.669	0.707	0.749	0.793	0.841	0.891	0.940	0.981	1.0	
1—7						0.663	0.707	0.756	0.809	0.866	0.924	0.975	1.0
1—6								0.655	0.707	0.766	0.832	0.901	0.936
1—5										0.643	0.707	0.782	0.866
1—4												0.624	0.707

表2-28　三相双层对称分数槽绕组短距系数表

每极每相槽数 q	节距 y	短距系数 K_{p1}
1 1/2	1—5	0.985
1 4/5	1—6	0.994
2 7/8	1—6	0.9[illegible]
2 1/10	1—7 1—6	0.998 0.955
2 1/8	1—7 1—6	0.[illegible] 0.9[illegible]3
2 1/7	1—7 1—6	0.99[illegible] 0.94[illegible]
2 1/5	1—7 1—6	0.99[illegible] 0.925
2 1/[illegible]	1—8 1—7 1—6	0.9[illegible] 0.9[illegible] 0.86[illegible]
2 4/7	1—8 1—7	0.987 0.940
2 4/5	1—9 1—8 1—7	0.997 0.966 0.902
2 7/8	1—9 1—8	0.994 0.956
3 1/5	1—10 1—9	0.995 0.960
3 1/4	1—10 1—9 1—8	0.993 0.959 0.903
3 3/7	1—10 1—9	0.981 0.940
每极每相槽数 q	节距 y	短距系数 K_{p1}
3 1/2	1—11 1—10 1—9 1—8	0.997 0.974 0.930 0.836
3 3/5	1—11 1—10 1—9	0.990 0.970 0.917
3 3/4	1—11 1—10	0.985 0.951
3 4/5	1—11 1—1[illegible]	0.980 [illegible].945
3 6/7	1—11 1—10	0.978 0.940
4 1/8	1—12 1—11	0.989 0.945
4 1/5	1—12 1—11	0.980 0.948
4 1/4	1—12 1—11	0.980 0.944
4 1/2	1—13 1—12 1—11	0.985 0.959 0.917
4 3/4	1—13 1—12	0.970 0.935
4 4/5	1—14 1—13	0.988 0.966
4 7/8	1—14 1—13	0.985 0.959
5 1/2	1—15 1—14	0.944 0.972

（4）计算绕组导线截面积：

①　电动机额定电流：

$$I_N=\frac{P_N}{\sqrt{3}U_N\cos\phi\eta}\quad(\mathrm{A})$$

式中 P_N——电动机额定功率（W）

U_N——电源额定电压（V）

$\cos\phi$——功率因数

η——电动机效率(%)

② 计算导线截面$S_{线}$：

$$S_{线}=\frac{I_\phi}{aN_1J_1}$$

式中 I_ϕ——定子绕组相电流（A），丫接法时$I_\phi=I_N$，△接法时$I_\phi=I_N\sqrt{3}$

a——定子绕组并联支路数

N_1——定子绕组并绕根数

J_1——定子绕组导线电流密度（A/mm²），可按表2-29选出。

表2-29 绕组导线电流密度表

型式	2极时电流密度 (A/mm²)	4极时电流密度 (A/mm²)	6和8极时电流密度 (A/mm²)
开启式	5.5～6.5	5～6.5	5～6.3
封闭式	3.5～5.5	5～6	4.5～5.5

选择电流密度时要考虑：（a）电动机绝缘等级，E级的要比A级的电流密度大些；（b）极数少的可选大些，容量大的可选小些；（c）通风情况和电动机工作状况；（d）电动机结构型式和材料等。

算出的截面积，要先换算出导线线径，然后查出国家标准规定的线规。

（5）槽满率的计算。槽满率计算公式为：

$$S_f=\frac{S_0'}{S}$$

式中 S_0——槽内导线铜的总面积（mm²）

S——空槽面积（mm²）

计算出的S_f应在0.45以内。

（6）线负载校核。电动机的线负载计算公式为：

$$A=\frac{Z_1 N_{sc} I_\phi}{\pi D_{i1} a} \quad (\mathrm{A/cm})$$

式中 N_{sc}——每槽导线数（选计算最多的匝数）

计算值应符合表2-25内允许范围。

对于国产电动机，通过测绘电动机铁心尺寸，可以查样本，查出电动机型号，然后根据电动机型号可查本书附表，会得到常用三相电动机电磁数据，按此数据进行修复和重绕线圈。

附表1给出Y系列（IP44）小型三相异步电动机技术数据（380V，50Hz）。附表2给出Y系列（IP23）小型三相异步电动机技术数据（380V、50Hz）。

附表9给出J2、JO2系列三相异步电动机技术数据汇总表。

附表11到附表16分别给出JS、JSQ、JR、JRQ等系列三相异步电动机技术数据汇总表。

附表10给出计算时所需的J2、JO2、JS、JSQ、JR、JRQ系列三相异步电动机槽形尺寸。

〔2-31〕 半开口槽分片线圈如何重包绝缘复用？

答：半开口槽分片嵌线绕组，大多数使用在低压中型电动机上。其线圈通常是采用双玻璃丝包扁铜线绕制，并经过拉形、热压等工序制成。电动机运行后，由于各种原因产生线圈绝缘故障，使得修理电动机单位重新制造新线圈是比较困难的，周期也长。新制造线圈的工序流程如下：将双根电磁线并绕成棱形线圈→直线部位疏包胶粘纸带和扎紧→拉形→复形（限于2极电动机）→烘热，使胶溶化→冷压，使线圈匝间粘结，便于嵌线→拆去扎紧带→分片→每片线圈包扎绝缘，半叠包0.15mm玻璃漆布带和一层0.1mm无碱玻璃丝布带，同相线圈半叠包一层0.15mm无碱玻璃丝布带→嵌线，先嵌一片线圈，嵌好定位后再嵌另一片线圈→检查→绝缘处理。

上面的工序流程表明，新制线圈是非常复杂的，但如果利用旧

线圈的扁铜线或利用旧线圈的一部分进行局部修理或全部修复，可免去上述许多工序，是比较省工省材料的可行办法。

线圈绝缘损伤或老化有以下几种情况。

（1）线圈主绝缘局部损伤或过热，比如槽内线圈绝缘局部过热或损伤；端部线圈绝缘局部损伤等，而其余线圈完好。

（2）线圈匝间绝缘完好，某些线圈主绝缘有损伤。

（3）主绝缘和匝间绝缘全部损伤或老化。

对于第一种情况，首先要确定出故障线圈数量和损伤部位，然后将故障线圈拆除浸入到热水中煮洗，如果故障点仅在一端，可只浸煮此一端，最后取出线圈用电工刀或竹板清理旧绝缘，清理干净后，检查无问题时进行包扎绝缘。匝间绝缘的复修可用543^2醇酸云母板做为匝间垫条，垫在每匝之间，也可用0.13×25mm三合一粉云母带半叠包一层做为匝间绝缘，然后用0.14×25mm粉云母带半叠包做为主绝缘。要求新包绝缘与完好的旧绝缘重叠50mm左右。

对于第二种情况，也是先确定出故障线圈数量和部位，然后拆出故障线圈，将绝缘损伤或过热部位清理干净，清理过程中勿损伤匝间绝缘，将保留部分绝缘与清除部分切出坡口（50mm左右），用0.14×25mm三合一粉云母带半叠包扎主绝缘。再经过整形、嵌线、接线、焊接、试验等工序。

对于第三种情况，仅利用原来的扁铜线线圈，全部绝缘要清除掉。为此，将全部线圈拆出槽外，经火碱水煮洗，然后用电工刀清理线圈旧绝缘，要彻底清理干净，在清理过程中勿使线圈变形，尤其是鼻端，检查铜线毛刺，并用细砂布打磨旧铜线，使其光滑，无锈斑。最后用0.13×25mm三合一粉云母带每匝平包一层，做为匝间绝缘，匝间绝缘全部包好后，再用0.14×25mm云母带半叠包一层做为主绝缘。线圈端部再平包一层0.1mm厚的无碱玻璃丝带，线圈直线部分花包一层0.1mm厚的无碱玻璃丝带，然后经冷压整形。

以上操作注意事项如下。

（1）拆除旧线圈时，要保持原有形状，特别是鼻端，不要变形，因为不再热压，这也是这种简易修理方法的特点。

（2）其次是煮洗线圈时，对于更换全部绝缘（包括匝间绝缘）时，用浓度为10%～15%火碱水将线圈旧绝缘煮松散，用电工刀清理干净，再用热水（80℃左右）冲洗掉残碱，再经打磨、去毛刺，烘干后待包绝缘。对于保留部分绝缘，比如匝间绝缘或主绝缘，不要用火碱水煮，可用热水煮洗，对于污垢严重的线圈可用中性洗涤剂煮洗或浸泡。然后再用清水冲洗两遍。清除不用的旧绝缘部分，烘干后备用。

（3）清理局部旧绝缘时，不要损伤保留完好的绝缘部分，如果局部清除旧绝缘困难时，建议全部更换新绝缘，只利用旧线圈的铜线和线圈形状。但对于几只线圈出现局部故障时，还是尽可能局部修理。具体工艺应按实际需要和工期等因素决定。

（4）如有条件，包扎好的线圈经浸漆然后再经冷压或热压（温度15±5℃，20 min），修理质量更好些。

（5）包扎线圈的绝缘厚度（对于全换绝缘修复而言），应计算一下，换新绝缘后槽内能否容装？

下面举出实例介绍计算方法。

JS117-4，180kW三相异步电动机，380V，329A，4△接法，线圈跨距1—14槽，每槽线数18，线圈采用双玻璃丝包扁铜线：$\frac{2-1.41\times3.05}{2-1.58\times3.25}$

线圈绝缘因严重过热已全部老化，因此，想利用旧线圈修复绝缘。

首先将电动机解体，拆除全部线圈，将拆除的线圈经火碱水煮洗，清理绝缘，经清洗、检查、烘干处理后，用0.13×25 mm三合一粉云母带平包匝间，然后用0.14×25mm粉云母带（也可用三合一粉云母带）半叠包一层做为对地绝缘，最后线圈直线部分花包一层无碱玻璃丝带，端部半叠包一层无碱玻璃丝带。包扎绝缘厚度计算如表2-30所示。

表2-30　旧线圈重包绝缘厚度计算表　　(mm)

序号	名　　称	线圈宽度		线圈高度		伸出铁心单边长度
		原来	现在	原来	现在	
1	电磁线采用0.13×25mm 三合一粉云母带平包一层	2～3.05 2～3.25	2～3.05 2～3.19	2×9×1.41 2×9×1.58	2×9×1.41 2×9×1.55	
2	用 0.14×25mm 三合一粉云母带包扎对地绝缘（原来最黑漆格带0.13mm）	0.50	0.56	1.04	1.12	
3	松散公差	0.2	0.2	0.1×18	0.5×18	
4	槽绝缘	2×0.45	2×0.45	3×0.45	3×0.45	15
5	层间垫条（3240玻璃布板）	—	—	2	2	40
6	槽底垫条（3240玻璃布板）	—	—	1	1	15
7	槽　　模（3240玻璃布板）	—	—	3	3	12.5
8	线圈公差	0.4	0.4	0.8	0.8	
9	铁心槽公差	0.4	0.4	0.4	0.4	
10	线圈装配公差	0.4	0.4	0.4	0.4	
11	槽内导线和绝缘总尺寸	9.32	9.24	40.23	39.77	

按表2-30计算结果看出在线圈宽度和高度方面均比原来尺寸小，故可顺利嵌入槽内。

〔2-82〕　插入式转子线圈如何修复？

答：

（1）做好原始记录。按表2-31认真填写原始记录。

（2）拆除旧绕组：

①　拆除旧绑箍。由于旧钢丝不再复用，拆除时可用 氧-乙 炔

表2-31　绕线转子电动机的转子绕组原始数据记录卡

（1）铭牌数据：

型　　号_____　额定容量_____kW　定子电压_____V　定子电流_____A　定子接法_____

转　　速_____r/min　频　　率_____Hz　转子电压_____V　转子电流_____A　转子接法_____

绝缘等级_____　运行方式_____　功率因数_____　效　　率_____%　出厂编号_____

制 造 厂_____　出厂日期_____

（2）铁心数据

转子槽数_____

转子铁心外径_____mm

气　　隙_____mm

转子铁心总长_____mm

通风道数_____

通风道宽_____mm

槽形尺寸_____

无纬带宽度_____mm

无纬带道数_____

钢丝直径_____mm

钢丝宽度_____mm

钢丝下绝缘厚度及材质_____

钢丝材质_____

扣片尺寸及材质_____

(3)绕组数据

绕组型式_____

绕组接法_____

并联路数_____

线圈节距_____

导线规格_____

并绕根数_____

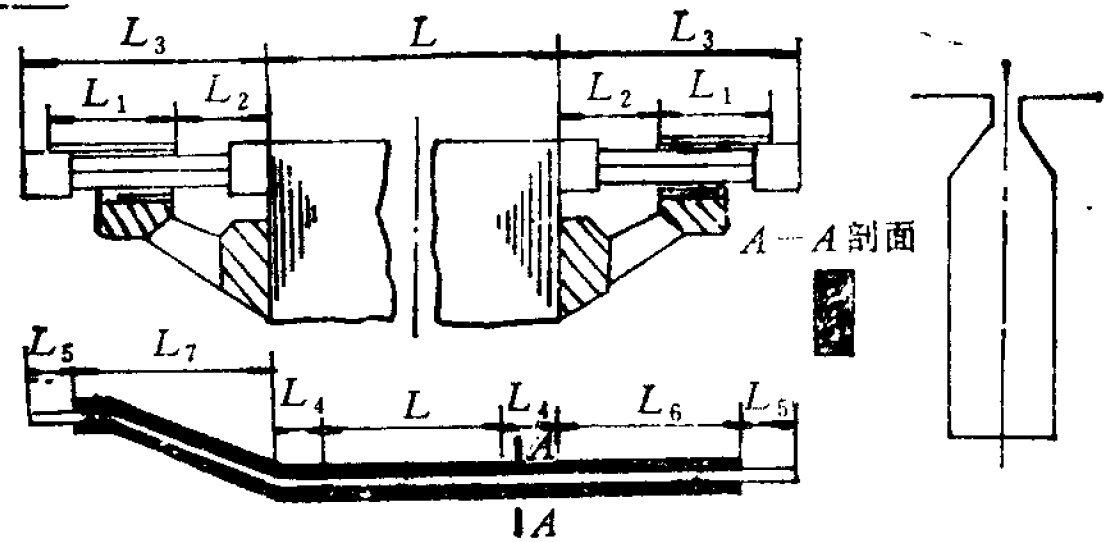
每槽导体数_____

每线圈匝数_____

直线截面尺寸 $\frac{a\times b(\text{裸})}{a'\times b'(\text{绝缘后})}$

绝缘结构_____

线圈尺寸_____



火焰或电焊沿转子一周切断钢丝绑箍。如果还要复用，则要做好记录（扣片数量、尺寸，匝数、钢丝规格、宽度、段数等）后，再用烙铁熔开焊接头，拆除钢丝，清理干净后保存好。对于无纬带绑扎的绑箍拆除时，可用手锯顺转子轴向锯断，即可拆下。

② 拆除接线和并头套。用烙铁、喷灯或碳精电极加热等方式，熔开绕组接线和所有并头套，将短路环、导电排、过线、引出线、并头套、铜楔、风叶片等拆下，并清理干净，保存好。

③ 打出槽楔。将转子放入200℃左右加热炉内，加热软化绝缘。取出后，用铁钎、手锤和电工刀等工具打出槽楔，在打出槽楔过程中，勿损伤铁心。

④ 拆除旧绕组。用弯形工具（图2-36）将上层线的一边扳直，另一端保持原有形状，然后抽出上层边导线，同时，要记录首末端导线，过渡线及齿面上做出标记。拆开层间绝缘。再将下层导线的一端转角扳直，抽出下层边导线。如果不再复用旧铜条可将绕组一端对齐铁心锯断。

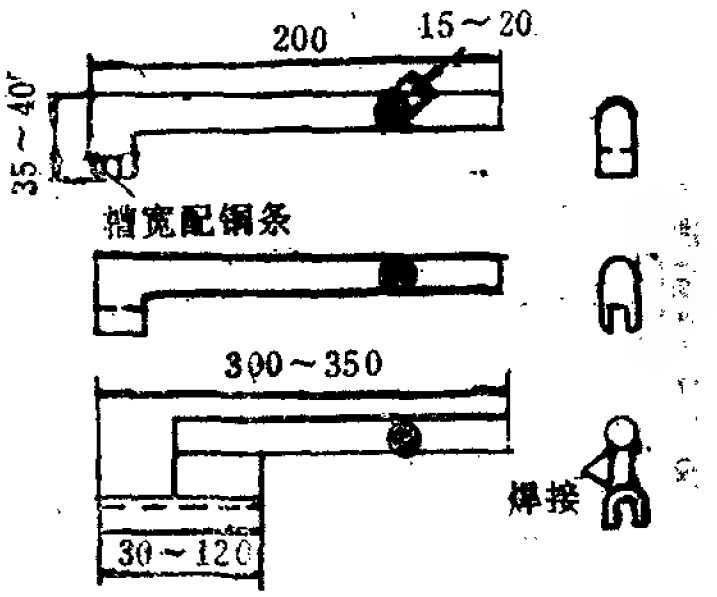


图2-36 弯形工具

抽出铜条办法可采用拔线机，也可利用天车拔出。

如果拆前没有专用加热炉，或容纳不下大型转子，为了软化绝缘，可采用喷灯或氧-乙炔气火焰加热绕组两端绝缘。注意铁心不可加热过火（小于300℃），然后拔出铜线。

⑤ 清理铁心。由于转子是半闭口槽，铁心较长。清理槽内残余绝缘工作较困难。清理时，应使用图2-37所示专用工具。刀头是利用车工合金刀制作的，手柄长度按铁心长度选择。

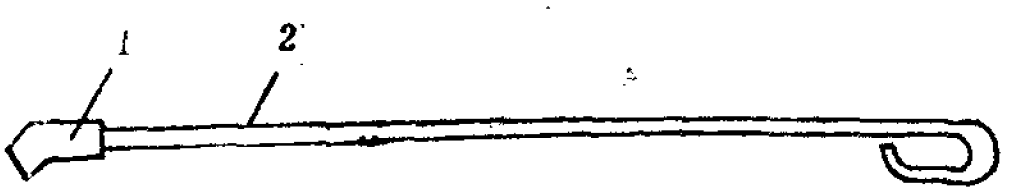


图2-37 清理铁心专用工具

1—合金钢头 2—铁棍

有时也用烧红的铁条通入槽内，烧焦槽壁上残余绝缘，并一定要清理干净，否则影响穿铜条工作。

（3）旧铜条复用。绕线转子电动机的转子绕组是由两半组导条组成的波绕组。导条是采用扁铜排制成，所以修理时都是利用旧铜条重包绝缘。

① 清除旧绝缘。通过200℃加热软化，一般用电工刀很容易清除掉；如果清除困难，可再加热（300～500℃）烧除，注意铜条不要严重变形。

② 退火工艺。常用下面几种方法。

（a）局部退火。因为受机械冷加工变硬部位只是端部转角扳直的部分，所以只要局部退火这部分即可。为了使锡焊面不过热，将这部分插入冷水池内，然后用氧-乙炔火焰加热扳直的部分，至暗红色，迅速投入冷水盆中退火（图2-38）。

（b）真空加热退火。此法优点是退火时铜条不被氧化，质量好。将欲退火的铜条放入真空退火炉内，加热至650℃，30min左右，迅速投入冷水中退火。

最好不要采取火烧办法，因为铜条受氧化后截面变小，搪锡面产生锡瘤，不易清理。

③ 整形及搪锡处理。由于铜条一端保持原有形状，所以整形部位主要是另一端扳直部位和直线部分。整形后，清理两端头搪锡面。清理干净后，在两端重新搪锡。

④ 工艺流程（两种方案）。

方案一，模压工艺：

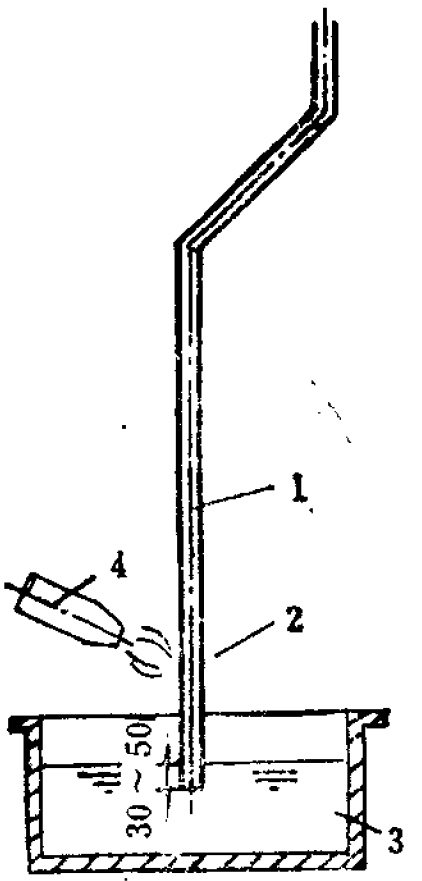
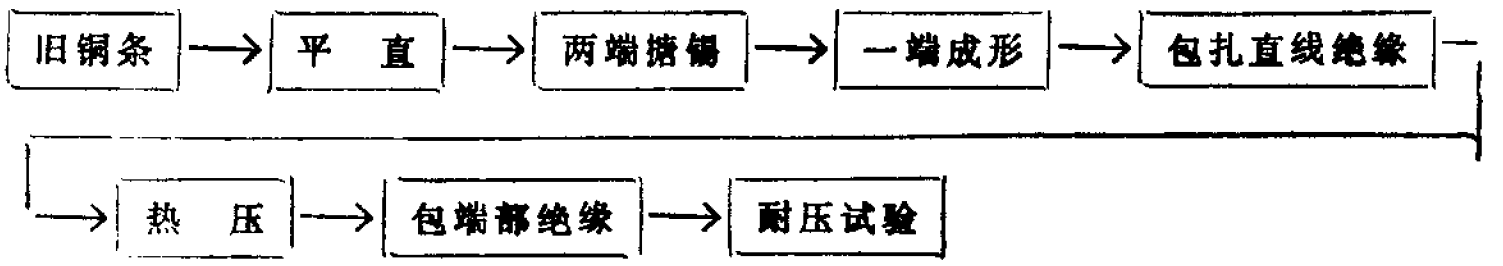
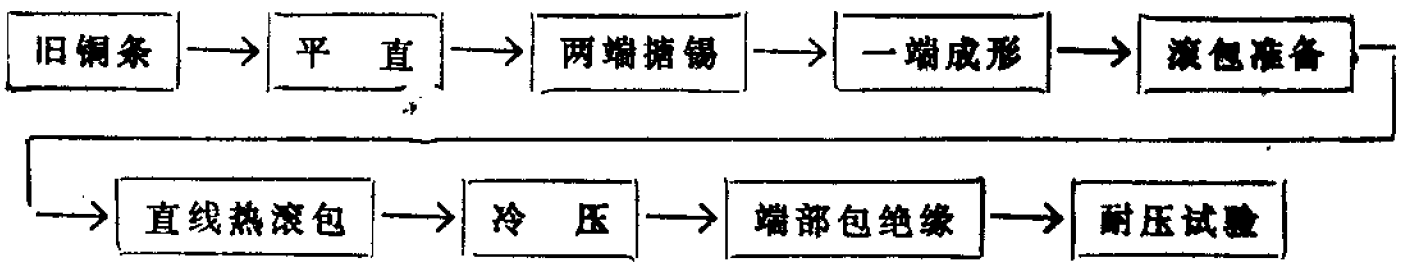


图2-38 转子铜条局部加热退火示意图

1—铜条 2—加热范围 3—水槽 4—火焰



方案二，滚包工艺：



（4）转子铜条包扎绝缘及模压工艺：

① 线圈直线部分用0.14×25mm，5438-1 环氧玻璃粉云母带半叠包：550 V 电动机为 3 层、1000 V 电动机为 4 层、1500 V 电动机为 5 层、2000 V 电动机为 6 层。或者用0.14mm厚 5438-1 环氧玻璃粉云母带（箔）卷包：500 V 电动机为 6～7 层、1000 V 电动机为 8～9 层、1500 V 电动机为10～11层、2000 V 电动机为12～13层。包后进行热压固化（170℃，25min），热压后，如图2-39所示尺寸，出槽口主绝缘削成斜锥体，以便与端部绝缘搭接。

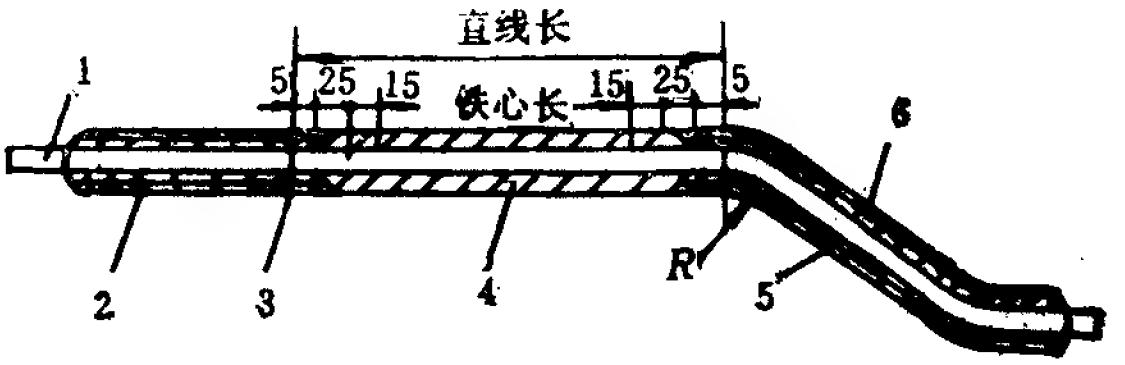


图2-39　转子铜条绝缘

1—铜线　2—0.05mm聚酰亚胺薄膜　3—浸稀沥青漆玻璃丝带　4—5438-1粉云母带　5—浸稀沥青玻璃丝带　6—594型B级胶玻璃粉云母带

② 线圈端部绝缘，按图2-39成型端先半叠包0.14×25 mm 594型B级胶粉云母带：500 V 电动机包 1 层、1000 V 电动机包 2 层、1500 V 电动机包 3 层、2000 V 电动机包 4 层。再半叠包0.1×25mm浸过稀沥青漆(1211)的玻璃丝带一层。未弯型端半叠包0.05mm聚酰亚胺薄膜：500 V 电动机 1 层、1000 V 电动机 2 层、

1500V电动机3层、2000V电动机4层，再半叠包0.1×25mm浸过稀沥青漆的玻璃丝带一层。

③ 槽绝缘为0.20mm厚聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔(DMD)一层。长度比铁心长出20mm（每端出槽口各长出10mm）。

④ 槽底垫条和楔下垫条为0.5mm厚，3240环氧玻璃布板或3230酚醛玻璃布板，宽度比槽宽小1mm，长度比铁心长20mm；层间垫条为2mm厚，3240璃玻布板，宽度比铁心槽宽小1.5mm，长比铁心长20mm。

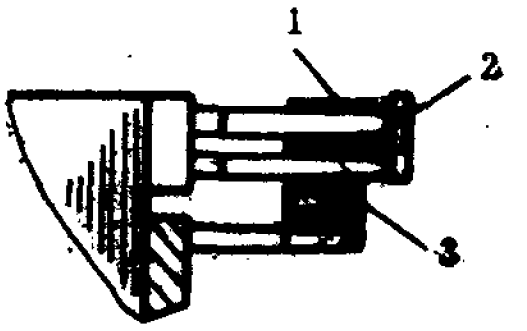


图2-40 支架绝缘和端部层间绝缘

1—0.5mm厚聚酯-B型无纬带 2—层间绝缘：0.5mm3240环氧玻璃布板二层，中间夹二层0.25mm厚5131醇酸玻璃柔软云母板，最外层用0.1×25mm无碱玻璃丝带扎紧 3—支架绝缘：同层间绝缘，但支架上先用玻璃布或玻璃丝带打底，并于凹下部分用ϕ2玻璃绳绑扎

⑤ 支架绝缘和端部层间绝缘，如图2-40所示。

⑥ 在线圈间连接线及引线全部半叠包0.17×25mm 2430黑玻璃漆布带：500V及1000V电动机为2层、1500V电动机为3层、2000V电动机为4层。再半叠包0.1×25mm无碱玻璃丝带（浸过稀1211漆）一层。

⑦ 转子嵌线并扎完无纬带固化后，浸1038绝缘漆二次并烘干。然后喷以H31-7（6431）铁红环氧聚酯绝缘烘漆，并烘干。

（5）转子铜条滚包工艺：

① 铜条平直。需要在平台上用打板平直铜条。

② 搪锡。搪锡温度320℃左右。搪锡长度不小于35mm。搪锡前，将搪锡部分用熟盐酸少浸片刻，然后用旧布擦拭，再用热水和冷水反复冲洗去除酸性。打磨毛刺。要求无麻点、毛刺、疙瘩。

③ 压弧压弯。按原始记录或图纸要求，在导线下面垫好压弧板，调整好直线长度，进行端部压弧。首件要严格检查，然后拉小角。

④ 涂漆。采用上胶机涂漆时，上胶辊为70～80℃，下胶辊

为100～160℃。若没有上胶机可用手工涂之。

⑤ 热滚包。切好云母箔和上胶纸：500V电动机，斜度10mm，500V以上电动机，斜度15mm。

在热平台上将云母箔和上胶纸粘合，导线表面刷胶晾干。热包机温度控制在160±10℃，上胶纸尾头热包完后应在导线的大面上。热包后，将一叠线圈排直。冷却后绝缘不应有鼓起和起泡现象。

⑥ 包扎端部绝缘。按绝缘结构包扎端部绝缘。11～13号机座电动机，半叠包一层2452，0.15×25mm黄玻璃漆布带，再半叠包一层0.1×25mm无碱玻璃丝布带。14号机座电动机，半叠包5432，0.14×25mm二层黄云母带，再半叠包一层0.1×25mm无碱玻璃丝布带。要求包紧，不起皱，搭接正确。

〔2-33〕 绕线转子线圈如何正确嵌线和组装质量检查？

答：

（1）线圈嵌线和接线工艺：

① 工艺准备：

（a）准备好嵌线、接线材料和工具：如槽楔、层间垫条、槽底垫条、焊接工具、设备，转子支架、压缩空气、钳工工具等。

（b）转子放在转子支架上。仔细检查转子铁心清理情况，合格后，用压缩空气吹净铁心。

（c）按绝缘结构要求，槽内放好槽底垫条及槽衬纸，两端伸出铁心长度要一致。

（d）包扎支架绝缘。包扎厚度与转子铁槽底垫条厚度相一致，不要以槽底相一致，因为转子绕组整形压紧时，导线还会下沉一些，如果以槽底相一致，这时端部导条会低于槽底，在槽口处绝缘会被压破。

按支架绝缘结构放好绝缘纸板，每层纸板前后应错开50～100mm，保证每层接缝均匀，沿圆周厚度一致。达到层数和尺寸后，再用0.1×25mm无纬带捆紧，捆扎时，带子要拉紧，使各层绝缘平整服贴。

（2）工艺过程：

① 按接线图和原始记录，画出嵌线标记，定出槽位。将集电环端的轴键槽朝上放置，取一只上层边满节距的线圈作为样板线，从集电环端穿入铁槽内，使其弧端转角向左（从集电环端看入），调整到转角端线头正好对准轴键槽中心线为止，这只线圈所在槽，定为一号槽，以下从右到左依次定为2、3、4……号槽，直到终了。根据槽数，按接线图用粉笔标出引线、换层线、短距线所在位置。最后抽出样板线。

② 穿下层线。从集电环端穿入下层线，使集电环端的线圈转角朝右。除换层线槽暂时空留不穿外，其余下层边全部按图依次穿完，非集电环端的导条用线绳临时捆扎紧。

③ 扎集电环端的层间绝缘

按图纸或原始记录给出的层数，将0.2mm的已给层数的衬垫云母板5130夹在两层绝缘纸板中间做为层间绝缘（每层云母板亦应错开适当距离），边包扎边用木锤敲打，使端部靠紧，不得膨空，用无纬玻璃丝带扎牢。

④ 插入换层线。集电环端层间绝缘扎好后，插入换层线，并分别从集电环端和非集电环端两面插入换层槽斜楔，使非集电环端的线端位于下层，集电环端的线端位于上层。

⑤ 非集电环端下层端线，用弯形工具，扳成所需形状，扎层间绝缘。根据线圈节距，用钢板尺量好嵌线尺寸，定好弯形工具内的线头长度，用特制嵌线扁嘴钳子夹住线圈出槽口部，开始弯形，弯头倒向左方（由集电环端看，为逆时针方向），依次弯好形后，导线下面垫上圆弧垫板，用木锤打出弧形，使导条紧靠在支架绝缘上，然后放层间绝缘。

⑥ 从非集电环端穿入上层线。使非集电环端的线端转角朝右，穿第一只上层线时，使直线插入槽内$\frac{1}{3}$处，以下依次插入，使转角端头靠拢。待全部上层线穿入后，再依次逐渐将线圈推入槽内，直至规定尺寸为止。然后将上层边用弯形工具弯形，打出弧

形、转角倒向左右。

⑦ 装并头套及风叶片。除去非集电环端的三个单独线头留做短路环Y点引线和集电环端三个单独线头留做穿轴引线之外，其余上层与下层线头皆按所需节距及风叶相隔槽数，用扁嘴钳子夹紧上下层线头，套上并头套和风叶后，打入搪过锡的铜楔，夹紧，保证接触良好。

⑧ 做耐压试验。

⑨ 焊接并头套。有银焊和锡焊两种。并头套经常过热用锡，可以将锡焊改成银焊。银焊加热方法可采用碳极加热、中频焊接机焊接、氧-乙炔焰加热等方法。焊接时，注意勿使线端绝缘烧焦，为此，要求线头部分绝缘采用耐温300℃左右的聚酰亚胺薄膜包绕，外面再半叠包无碱玻璃丝带一层。铜线端头下料时要长一些（5～10mm），焊接点可以比锡焊时向外移，同时焊接根部用沾湿的石棉纸包上隔热。

锡焊的方法有三种。采用烙铁逐个焊接、并头套整体浸入锡锅中浸焊以及部分并头套浸入扇形锡斗中浸焊等。首先将并头套处填好松香膏，将转子吊到锡锅上面，锡锅温度控制在320～360℃，使并头套垂直焊锡面下放，让锡液面刚好浸过并头套为止。吊出后，趁热用毛刷刷去锡瘤，使焊接表面光滑。检查焊接质量：外观检查、通电流发热试验和测量三相直流电阻值。

⑩ 包扎并头套。用2432玻璃漆布带半叠包1～2层，外面再半叠包一层无碱玻璃丝带，为了节省时间可准备各种尺寸的玻璃丝绝缘套管套入亦可。并头套之间的间隔大于6mm者，可只包不同相的相邻并头套，小于6mm者，全部并头套逐个包扎。然后装短路环，焊好短路环Y点引线。全部焊好后，检查和清理进入绕组内的锡豆。

短路环和引出线的绝缘，采用2432玻璃漆布带半叠包2～3层，再半叠包一层无碱玻璃丝布带。

⑪ 打入槽楔，用楔下垫条厚度调整槽楔松紧程度。

⑫ 绑扎无纬带，浸漆干燥及耐压试验。

⑬ 引线电缆处理工艺：

（a）按原始记录或图纸要求尺寸，将电缆线用剪刀切成所需长度，并用电工刀和钳子将端部绝缘剥除，使露出铜导线。

（b）将露出铜部分清理干净，用绑绳绑扎从露出铜导线绝缘边开始，包扎适当长度（不少于5圈），要绑扎平整紧固，以防绝缘层松脱。

c）将露出铜部分涂上焊锡膏，在锡锅内搪锡，锡面应与绝缘边缘平齐，不可浸过绝缘。

（d）将搪好锡的线头放在搪好锡的接头内，用锤子砸接头套，使铜线紧紧地包在套内。

（e）在接头上再涂焊锡膏，插入锡锅内搪锡，仍要求锡液面不浸过绝缘。取出后，趁热擦去多余焊锡，使表面光洁。

⑭ 转子喷漆干燥后，将引线电缆穿入轴孔，把导电排端与引线端头合好，焊接牢固。常用电缆规格有橡皮绝缘丁腈护套引接线（JBQ）和橡皮绝缘氯丁护套引接线（JBHF）。绕线转子引出线电缆常用规格如表2-32所示。

表2-32 绕线转子引出线电缆常用规格

机座号	极数	接线柱上6根短引线截面积 (mm^2)	穿轴电缆长引线截面积 (mm^2)	剥去绝缘露出铜线的搪锡尺寸 (mm)
11号、12号	4～12	25	35	16～21
13号	4～12	25	50	16～22
14号	4～12	70	50	18～25
15号	6～12	70	70	20～32
15号	4	70	95	21～40

⑮ 将引线电缆穿入轴孔内，导电排端与集电环上层引出线端头套合在一起，并焊好。然后校静、动平衡及总装配。

⑯ 质量要求：

（a）嵌线、接线正确。

（b）焊接牢固可靠，表面光滑平整。

（c）并头套间距均匀，线圈端部轴向长短一致，不齐度小于5mm。

（d）槽楔固定可靠，不高出铁心。

（e）无纬带绑扎可靠，不高出铁心表面。

（f）全部电气试验合格。

〔2-34〕 高强度漆包线如何快速脱掉漆膜？

答： 高强度漆包线在焊接部位需要脱掉漆膜，露出裸铜才能施焊。目前采用手工刮除或用火烧都不理想，用手工机械刮除不彻底，影响焊接质量；火烧热量影响绝缘质量。以上方法速度慢，甚至有些场合不能采取。因此，下面介绍用化学方法快速脱掉漆膜。

目前使用的高强度漆包线有聚酯类漆包线和聚酰亚胺类漆包线两种。下面分别介绍其工艺。

（1）聚酯漆包线去除漆膜方法：

① 配方：

二氯甲烷（或三氯甲烷）	8.6%
甲酸	6.5%
苯酚	5%
有机玻璃粉	1%
乙基纤维素	1.5%
石蜡油（封蔽剂）	

② 配制：先放固体，后放液体，搅拌均匀成为溶剂。

③ 使用方法：向欲去除的漆膜上涂上溶剂，约 3 ～ 5 min，漆膜就可脱开，然后用清水清擦或清洗，视导线的位置，也可用干毛巾抹去残余漆膜。

注意：不可将溶剂落在线圈上或不需脱膜的导线上。

（2）聚酰亚胺类漆膜去除方法：

① 配方：用化学试剂纯氢氧化钠加水，按100:70的比例配成脱漆剂。

② 操作：将配好的脱漆剂放入不锈钢锅内加热130℃左右，将欲脱膜的线头插入脱漆剂中 3 ～ 5 min，漆膜即能脱落。然后再放入清水中冲洗，消除残存的氢氧化钠。再把线头投入弱酸液中中和（醋酸:水＝1:10）10min，取出后再在清水中冲洗，最后擦干线头即可。

③ 效果：一台有384个线头的电动机，如用手工刮漆膜需56 h，用此法仅1.2 h。用手工刮质量不好，易损伤铜材。

此剩余废溶液可用酸液中和处理，减少环境污染。

〔2-35〕 低压软绕组线圈如何进行嵌线？

答：软绕组的槽绝缘（对地绝缘）和相间绝缘、层间绝缘所使用的材料基本相同。常用的槽绝缘结构见表2-33。槽绝缘出槽口处加强措施如图2-41所示。槽绝缘两端要剪角，以免运转时产生噪声。

表2-33 常用的槽绝缘结构

结构型式 / 耐热等级	外层	中层	内层
E	聚酯薄膜绝缘纸	6520复合箔	
	绝缘纸	2412油性玻璃漆布	聚酯薄膜
B	聚酯薄膜、聚酯纤维纸复合箔DMD(或DMDM)		
	2430醇酸玻璃漆布	5131醇酸玻璃柔软云母板	聚酯薄膜
F	聚酯薄膜、芳香族聚酯酰胺纤维纸复合箔NMN		
	聚芳酰胺薄膜—粉云母纸与玻璃布复合材料		
H	聚酰亚胺薄膜、芳香族聚酰亚胺纤维纸复合箔NMN		
	聚酰亚胺薄膜	有机硅柔软云母板	聚酰亚胺薄膜

嵌线前，要检查线圈绝缘情况和匝数是否符合要求，并且要熟悉原始记录或图纸的嵌线数据和说明。整理好线圈外形，做好线头套管和端部绑扎工作。

将定子铁心或机壳按引出线的方向位置放置在工作台上，要

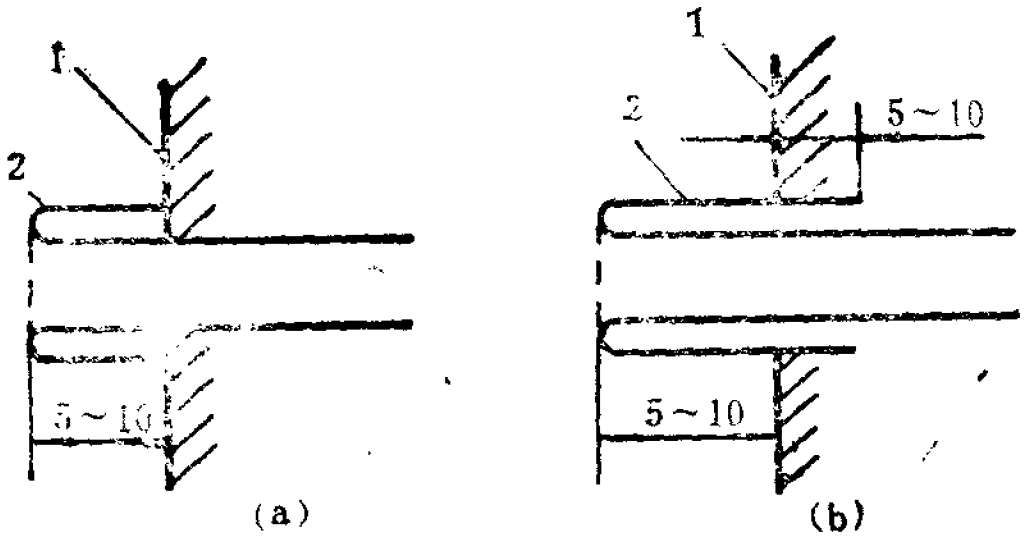


图2-41　槽绝缘出槽口处加强措施

(a)出槽口处折转加强 (b)出槽口处折转并伸入槽内加强

1—铁心　2—槽绝缘

垫稳。圆形铁心或外壳应放在能转动的定子支架上，便于嵌线。转子应牢固地吊放在转子支架上，不许损伤轴颈部位。在垫放槽绝缘之前，要先彻底清理铁心和线槽内脏物和污垢，并用吹风机吹扫干净；然后用汽油擦洗干净，扁张部分要事先处理好。

用直径较粗的圆铜电磁线绕制的线圈，要先用扁嘴钳子（有保护带包绕钳嘴）在线圈顶部R部位揑小弯，并在直线两端转角处揑大弯，便于嵌线，然后包扎和固定好槽口底部两端的绝缘端圈，要垫到与槽底相平。转子支架绝缘按工艺绝缘规范垫好绝缘，出槽部分应与槽底相平，外端支架绝缘要稍低于槽底2mm左右。最后选出绝缘材料，并将绝缘垫放好。

（1）单层同心绕组嵌线工艺。首先取出第一组线圈，从内圈到外圈逐次按节距嵌入槽内。

其次将靠操作者最近的线圈的底线用双手将线匝捻扁，并倾斜地将导线嵌入槽口，轻轻摇晃，自右端向左拉入槽内，剩下的线匝用理线板理入槽内。然后捏住线圈两端导线，活动线圈并整理好，以免导线交叉。继而将线圈端部压低，并将线圈的另一边推置在相应节距的槽口上部，分别将导线理入槽内，剩下的导线匝，仍用理线板理入槽内，并整理交叉的导线。最后校正线圈两端长度，使伸出槽的两端长度相等，再用打板将线圈端部下压整形，使线圈低于铁心表面，这样做可便于其余线圈的嵌线。用剪

刀沿槽口剪去高出槽口的绝缘，严用线压子叠包槽绝缘，重叠部分不小于2mm。将槽楔打入槽内，叠嵌好的线圈固定在槽内。线圈嵌入槽口时，要用引线纸（或内层槽绝缘伸出槽口）保护线匝，以防槽口棱角刮伤导线绝缘。

用上述方法，嵌完第一组线圈后，用打板整理线圈端部形状，并用无碱玻璃丝带将该组端部导线捆包在一起，使引线头及套管绑扎固定好。较大容量和极数少的电动机线圈端部应全部包扎好，以加强绝缘。端部同层相临的线圈组间，其距离不小于5 mm。

仍采用上述嵌线原则，先嵌底线边，后嵌面线边，逐次由内圈到外圈嵌线。最后将其余下层线圈组全部嵌放完。下层线圈组嵌完后，用同样方法嵌放上层线圈组（“上层”或“下层”是指绕组端部的排列）。每嵌完一组后，应垫好端部相间绝缘垫。

全部线圈嵌完后，要全面检查线圈绝缘和形状，修剪相间绝缘，其边缘应突出线圈边2～3 mm。线圈高度应低于铁心表面，并呈喇叭口状。

转子绕组应低于铁心表面3～5 mm。转子同心式绕组端部绑扎，不用钢丝或无纬带绑扎端箍，应用绑绳绑扎和用绝缘钢圈进行固定。

（2）单层交叉绕组和链式绕组嵌线工艺。首先取出第一组（交叉绕组）或第一个（链式绕组）线圈，将靠操作者近边的线圈边捻平，倾斜地自右向左插入槽口；然后轻轻摇晃并将线圈拉入槽内，剩下的线匝用理线板理入槽内。捏住槽口两端直线角部，使线圈形状整齐，然后将此线圈另一边线匝推到大于一个节距半的槽的上部，使线圈两端长度相等，并将端部线圈向下压低。

用剪刀剪去高出槽口的绝缘，用线压子将槽绝缘叠包，重叠部分应大于2mm，同时打入槽楔。整理端部形状，并低于铁心。

按上述手续嵌完一组线圈后，间隔一组或一个槽数，继续嵌放第二组或第二个线圈的底线边。当嵌完一个节距范围内的底线边后，先将线圈的另一边（面线边）推至一个节距位置后，把两

端向下稍压低；然后将面线边导线匝理入槽内。

校正线圈伸出铁心的两端长度，要使其相等。用打板整理线圈端部形状，使线圈最高点低于铁心表面，并使端部外形呈喇叭口状。转子绕组端部应低于铁心表面 3 ～ 5 mm。

每嵌完一组或一个线圈，应在两端垫入相间绝缘，要求与槽绝缘接触上并重合一部分。当嵌到最后两组（或两个）线圈的底线边与第一节距的面线边相遇时，需先将面线边逐个翻起。待全部底线边嵌完后，开始复槽，将翻起的面线边复形，嵌入槽内。然后修剪相间绝缘，边缘要光滑，且超出线圈边 2 ～ 3 mm。用打板整理线圈两端，使线圈端部形状整齐，呈喇叭口状，要圆整，不得妨碍转子装配。

（3）双层叠绕组嵌线工艺。首先取出第一组线圈，放置在铁心的右端，将起始线圈的下层线边用双手捻扁导线匝，倾斜地插入槽口，向左一次拉入槽内。捏住槽口两端直线角部，使线圈形状整齐。穿入弯成U型的层间绝缘，使线圈及绝缘两端长度一致。将上层线边推至大于节距半槽的上部，再将两端向下压成倾角。然后，继续嵌入线圈。

每嵌完一组，要检查层间绝缘，用线压子将下层导线仔细压紧使贴于槽底绝缘。从第二组线圈起，嵌完每组的第一个线圈后，应在相组间垫入端部相间绝缘，则使其与槽绝缘相接触，与层间绝缘重叠。

嵌到一个节距数的线圈后，开始在第一个线圈的下层线边上嵌放线圈的上层线边。用理线板将导线分层理入相应节距的上线槽内，导线不许交叉和扭曲。理顺后，用剪刀沿槽口剪去高出槽口的绝缘，用线压子将导线叠包在槽绝缘内，同时打入槽楔。对于容量较大和极数少的电动机，开始逐个包扎线圈端部，以加强绝缘。按上述步骤继续嵌放线圈，每嵌完一个线圈后，可用打板整理好端部形状，使线圈端部低于铁心表面，呈喇叭口状。

对于分数槽绕组，每嵌完一组线圈后，要检查绕组分配和排列顺序是否正确。

当下层线边嵌到与第一节距的上层线边相遇时，需要逐个轻轻翻起上层线边（吊把），使不影响最后一个下层线边的嵌入。依次嵌完全部下层线边后，将第一节距翻起的上层线边又逐次放入槽内，并整形。线圈嵌完后，全面整理线圈端部形状，以及修剪相间绝缘。

〔2-36〕 低压硬绕组线圈如何进行嵌线？

答：将定子按引出线的方向位置，稳妥地吊放在工作台上，转子可吊放在转子支架上，吹风清扫铁心，整理线圈，按规范包扎端箍和作好定位，转子绕组支架绝缘要事先包好，槽内要放好槽绝缘及垫条等。

首先嵌放第一节距的线圈的下层线边，同时把上层线边临时嵌入相应节距槽内的上层部位。取出第一组线圈的起头长引线的线圈，将下层线边的两半线圈元件分开成上下排列，双手捻平斜置于右端槽口，向左轻轻拉入槽内。然后将下半线圈元件置于半闭口槽侧，再将上半线圈元件下压，捏住两端直线角部，活动线圈，使两半线圈元件并列复位（见图2-42）。校正两端长度，用打板轻轻敲打，使两半线圈元件同时平整地服贴槽底。最后穿入层间垫条压平。

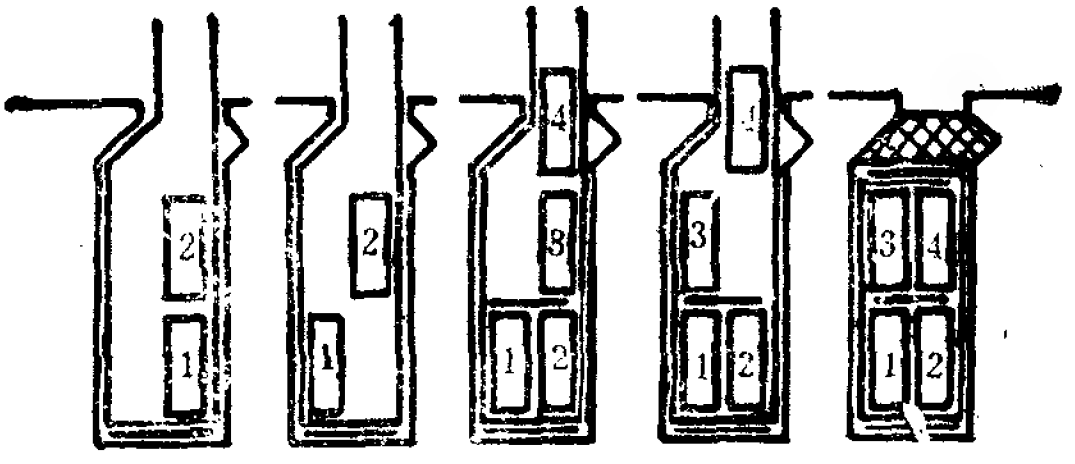


图2-42 线圈嵌放顺序示意图

将上层线边同样分散为两半，临时置于相应节距槽内的上半槽位置。校准端箍位置，将线圈临时绑扎在端箍上，继续按长短线头分组排列，逐个嵌放线圈。

当嵌到一个节距数的线圈时，校正层间垫条，开始在第一个线

圈的下面校正两端长度，用压线板打平压紧槽内上下层导线。然后在槽上部，嵌放线圈的上层线边。用剪刀剪去高出槽口的绝缘，用压线板包叠槽绝缘。垫入楔下垫条，打入槽楔。将线圈两端在端箍圈上用无纬带进行绑扎。用扁嘴钳整理线圈形状，使两端绕组低于铁心表面。

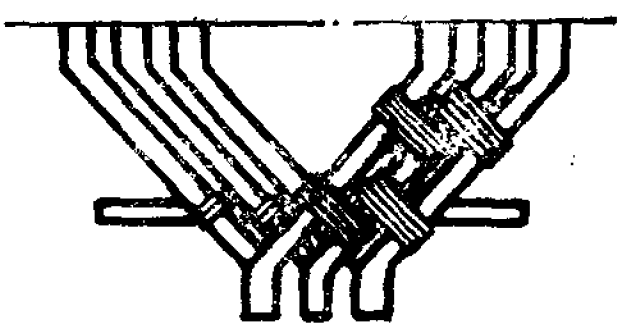


图2-43　线圈端部的绑扎

按上述操作，逐个嵌放其余线圈。从正式嵌放第二个上线边开始，需在端部上层斜边的间隙内塞入异形毡垫条，用无纬带将每相邻的两个线圈紧固绑扎在一起(见图2-43）。如间隙小，可不用塞入异形毡垫条。要求相邻线圈的间隙平行均等，在定子两端呈喇叭口状。

当下层线边嵌至与第一节距的上层线边相遇时，需先拆开初嵌线圈与端箍的临时绑扎线，逐个从槽内轻轻抬起上层线边，用绑绳悬吊适当高度；然后依次嵌完全部下层线边，最后将第一节距抬起的上层线边逐个整形并重新嵌入槽内，扎好绑带，打入槽楔。

线圈全部嵌完后，检查和整理线圈和绝缘，使线圈长短整齐一致，绑扎牢固，相间绝缘线圈排列正确。

〔2-37〕　转子铜排如何进行嵌线？

答：嵌线前，要对集电环进行修理和试验。待试验合格后才能进行嵌线准备。按规定包好支架绝缘，并穿入槽底垫条和槽绝缘。根据原始记录或图纸要求结合集电环引线部位，确定出三相首尾、引出线及过线槽号，并用冲子在铁心齿部打印，如原来有拆卸标记，则应检验一次。端部为隐蔽式过线的，应按图或实样在端头绝缘台上标定位置，预先捏出埋线坑。

首先穿入下层线。采用端部隐蔽式过线的，应先将三组过线自转子集电环端分别在三组过线槽的下层部位平行穿入，再将端部横跨过线埋入绝缘台坑内。然后逐次穿入引线、短节距线和正常节距线。

采用端部外接线或槽内换层过线的直线铜排，或先弯好一端的铜排，亦应先穿引线及缩短节距线，再将正常铜排一次穿入。铜排端头不许有毛刷和锡瘤，以防刮破槽绝缘。穿入的底层线应靠近槽底部，方向平行，用力均匀，平稳地推入导线，两端长度应相等。连续绝缘的铜排，按包带的前进方向穿入，以减少穿入时阻力和防止损伤绝缘。

穿入的下层线应服贴于槽底。穿入先弯好一端的铜排后，将铜排的两道弯角部位用绑线沿圆周绑好固定，并做另一端的揑弯准备。按$\frac{1}{2}$节距，用揑弯板手逐个进行揑弯，同时用木锤敲打出弧度。揑完大弯后，标准$\frac{1}{2}$节距位置，逐个揑完小弯。校正铜排和槽绝缘两端长度，斜边要排列整齐，弧度要服贴于绝缘支架。大、小弯长度应整齐一致。下层线全部弯完后，在两端绕扎端部层间绝缘。绝缘厚度和材质按绝缘的结构和规范进行选用。

穿入上层线。按照记录，先穿引线及短节距线铜排，后穿正常节距铜排。对先弯好一端的上线，不能将铜排一次全部穿入，需将第一根铜排只穿进约$\frac{1}{3}$的长度，再按标记排列长短线，顺次沿圆周逐槽成螺旋缩短穿入铜排，直至达到所需长度为止。

找齐后，先揑上线的大、小弯。然后绑扎头端，揑尾端，最后绑扎尾端，揑头端。

揑上线段大弯要逐渐增大弯曲角度。揑上线小弯时，应根据下线引出线标记和槽部标记，使上下线头对准节距。在各引出线的两侧，及时上好并头套以防错乱。线头全部弯完和检查无误后，可全部套入带有风叶的并头套，要均匀等分。然后用扁嘴钳整理套间距离，并测试直流电阻和绝缘电阻为合格。

要求绕组两端伸出铁心的长度应一致，并头套的直线长度应一致，其尺寸如图2-44所示，尺寸大小应符合表2-34中的规定值。

两端线圈的斜边应排列整齐、紧密和圆整，线圈表面应低于

铁心面3mm以上。

表2-34　并头套部位直线尺寸长度表

K (mm)	l (mm)	L (mm)
15～18	3	25～30
20～22	4	32～35
25	5	40

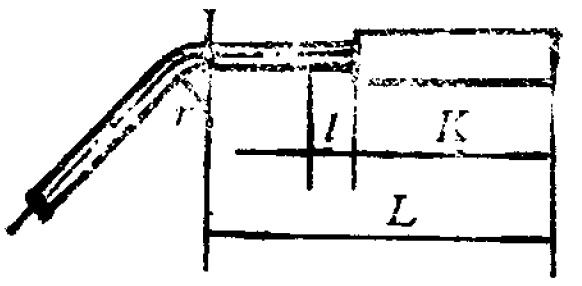


图2-44　并头套部位直线尺寸长度图

K—并头套宽度　l—并头套与绝缘距离　L—端头直线长度

〔2-38〕　重绕高压圈式线圈的工艺流程都有哪些？

答：当前修理高压电动机线圈重绕时，常用的工艺流程有：

（1）全粉结构，不经模压（一般3kV级适用）

（2）全粉结构，经模压工艺（适用各种电压）

（3）全粉结构，利用本身机壳进行真空浸渍处理。

对于第一种工艺流程：绕线→初包→刮头→预热拉形→预热整形→包排间绝缘→匝间浸渍及排直→包引线头绝缘（也可后包）→绕包对地绝缘（主绝缘）→最外层包绕热收缩带→冷压整形→对地交流耐压试验→匝间绝缘耐冲击试验→其他电气试验检查→成品检查。

对于第二种工艺流程：绕线→边绕边包匝间绝缘→初包→刮头→预热拉形→预热整形→包排间绝缘→匝间浸漆及排直→包引线头绝缘（也可后包）→包对地主绝缘→包防晕带→热压直线主绝缘→包扎端部→防电晕处理→对地交流耐压试验→匝间绝缘耐冲击电压试验→防电晕检查试验→其他电气性能试验（tgδ试验等）→成品检查。

对于第三种工艺流程：绕线→边绕边包匝间绝缘→初包→刮头→预热拉形→预热整形→包排间绝缘→匝间浸漆及排直→包引线头绝缘（也可后包）→包对地主绝缘→包扎防晕带→整形→包扎端部→防电晕处理→对地做耐流耐压试验→匝间绝缘耐冲击电压试验→防电晕检查试验→其他电气试验检查→成品检查。

说明：本工艺流程包扎对地主绝缘是采用机包，线圈端部是采用手工包扎，如果无绕线绝缘包带机，完全采用手工包扎时，可将整个线圈连续包扎完，不存在包扎端部工序。

防电晕处理有两种方式：一种是采用半导体带包扎方式，另一种是刷半导体漆方式，所以程序中有包防晕带和防电晕处理两个工序，根据具体工艺只择取其一即可。目前有的修理单位采取刷包式，或直线包扎，端部涂刷等方式，也按实际规定的工艺进行。防晕处理只对10kV电动机和高原地区6kV电动机才适用，至于一般地区6kV电动机是否要做防晕处理，由用户提出要求而定。

根据具体线圈绝缘结构确定是否再包绕匝间绝缘，如3kV电动机，电磁线本身绝缘就能满足匝间耐压，所以在绕线时就不包扎匝间绝缘了。

〔2-39〕 线圈张形和整形时都有哪些技术要求？

答：线圈的张形是在张形机上进行的。在张形前，线圈要包扎一层聚乙烯热收缩带作为保护线圈用。当线圈预热在80±5℃，经6～10min后聚乙烯热收缩带便可收缩，压紧导线，使导线排列更紧密。

对于节距较大及端部形状要求准确的线圈，经张形后，还要对线圈进行整形，也就是将线圈放在整形模内进行矫正线圈形状。为了使线圈张形后尺寸正确，一般要按线圈图纸（或原始记录）、线圈节距和铁心尺寸做个检查样板，用以检查线圈张形后的尺寸、角度和各部距离。张形的节距和角度，一般在张形机上可调大$\frac{1}{4}$～$\frac{1}{2}$槽距，如图2-45所示。

线圈张形的直线边两端伸出铁心的长度，取决于电动机绝缘的电压等级。如3kV电动机，伸出铁心长度为35～45mm，6kV电动机为52～60mm，10kV电动机为75～100mm。在张形和整形过程中，不许采用铁器工具直接敲打线圈，以防绝缘破损受伤。张完第一个线圈后，要先在铁心或样板槽内试嵌或在整形模上整形，要求线圈形状应完全符合要求；然后才能继续进行其余线圈的张

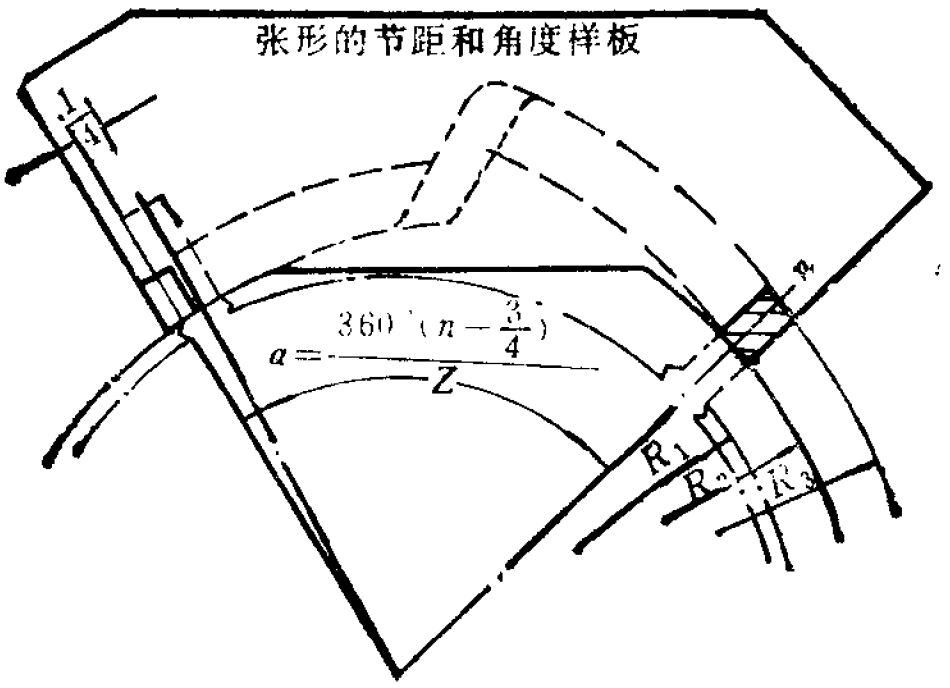


图2-45　张形样板画法图

形和整形工作，直至所有线圈张形和整形完。

张形和整形的总要求：每台电动机的所有线圈形状和尺寸应一致，直线长度、跨距角度、端部弧度和弯曲角度等各部分均应符合规定要求。

〔2-40〕　绕制定子线圈时有哪些工艺要求？

答：散嵌线圈采用绝缘圆导线绕制，一般是将极相组内各线圈连绕。对于小容量电动机，还可一相内各线圈连绕，这样可省去极相组间的焊接工序。线圈几何尺寸决定于绕线模，因此绕线模必须制作精确合适。绕线模安装在绕线机心轴上之前，要检查绕线机空车试运转是否灵敏平稳，检查转速表和计匝装置是否准确无误，同时检查绕线模尺寸是否符合图纸或原始记录要求。木制变形的绕线模，未经修理不可直接使用。绕制前，还要用千分尺检查导线规格、质量是否合格。

将电磁线捆套在活动放线架上旋转放线，以防止因扭曲、变形损伤导线绝缘。绕线时，不准从原来的导线捆上直接抽头提升放线。在安装好的绕线模上放置好绑扎线，先将连接过线的绝缘套管穿入导线内，并将引线头固定在绕线模上；然后开始绕制线圈。绕制时，导线拉力大小取决于绕线机速度和导线直径大小。绕线机速度一般控制在 150～200r/min。圆铜线绕线拉力可参考表2-35所示的拉力数值。

表2-35　圆铜导线绕线拉力数值表

圆铜线直径(mm)	0.6	0.6～0.9	1.0～1.2	1.31～1.4	1.5～1.6	1.7～1.8	1.9～2.0
拉力(N)	20	30	60	90	130	170	190

圆铝导线绕线拉力应控制在22～32 N 范围内。绕线时，圆铜线拉细的极限值不应超过规定：圆铜导线直径ϕ1.5mm以上为0.05mm，ϕ0.61～1.5mm为0.01mm，ϕ0.4～0.6mm为0.005mm。

导线在绕线模中按顺序排列，不允许交叉。导线断头的焊接部位应选在线圈端部下层线斜边。焊后应清理焊瘤，并包扎相同绝缘等级的材料。用圆线绕制线圈时，线圈首尾引线长度稍大于相组接线距离的一半。线圈绕制后，应测试匝数，并在线圈两端斜边进行正式绑扎。线圈引线头套管应超过绑扎深度30mm以上。

对于绕制扁铜导线线圈时，要用线夹子将导线拉紧，调节拉力。在绕制过程中，一边绕线一边用打板沿绕线模槽将每层导线敲平，使各匝靠紧。若边绕线边包扎高压线圈匝间绝缘时，包扎带的接头不许在直线部分。如需在线圈整形后包扎匝间绝缘时，那么在绕线过程中，应在每层匝间垫放一定厚度的绝缘纸条，并留出包匝间绝缘的空间。匝间有垫条的线圈，每层垫条的搭接位置要在端部斜边上，各层搭接位置要分开，均匀交错，不可重叠。匝间垫条宽度小于导线宽度的0.5mm。用扁导线绕制的线圈始末端引线长度应稍大于相组接线距离的一半。

线圈绕制后．要求线匝排列整齐，绕制紧密，绑扎牢固，绝缘完好，尺寸符合要求，匝数正确。

〔2-41〕 高压电动机线圈包扎云母带绝缘的工艺要点是什么？

答：目前电机修理单位有两种包扎方式，一种是用手工包扎，一种是用包带机包扎，用包带机包扎仅限于线圈的直线和端部的$\frac{1}{2}$～$\frac{2}{3}$长度部分，其余鼻子部分仍是手工包扎，普通包带机不能包扎。

（1）机包要求。采用机包时要注意包扎速度。当前使用的粉云母带有多胶、中胶和少胶三种，云母带含胶量小于30%时叫少胶，云母带含胶量在30%～37%的叫中胶，云母带含胶量在38%～40%的叫多胶粉云母带。对于多胶和中胶云母带，包带机的转速选用200～300r/min；少胶的云母带，包带机转速要低于200r/min，否则云母带包扎质量受影响。由于修理单位很少有真空整浸设备（V.P.I工艺），因此不采用少胶粉云母带包扎。当采用模压工艺修理高压线圈时，宜选用多胶（也叫富胶）粉云母带。

采用机包时，一般是一次包两层云母带。当两层云母带一起包扎时，要求两层云母带要错开$\frac{1}{4}$云母带的宽度。如果两层云母带错开$\frac{1}{2}$云母带宽，则包扎后耐电压强度要降低，这是因为两层云母带搭接缝分布不均匀所致。

云母带从冰箱取出后，要在室温回温一段时间（10～24 h）再用，否则会出现线圈发空现象。

包扎云母带绝缘材料和层数按表2-36进行。

具体包扎厚度应考虑实际槽形尺寸，所以在包扎云母带之前，应按槽形和云母带的压缩率计算出线圈包扎层数，包扎后线圈应有的绝缘厚度，以及确定出线圈绝缘热压后的尺寸。

$$\text{压缩率}=\frac{\text{线圈包扎后的实际厚度}-\text{模压后绝缘实际厚度}}{\text{线圈包扎后的实际厚度}}\times 100\%=20\%\sim 25\%$$

引线头的包扎，可以先包，也可以在包鼻端时一起包扎，在工艺流程中介绍的是先包扎引线头绝缘的工序。引线和鼻子的连接，建议采用引线和线鼻连成整体的方式（图2-46），即上引线头是从鼻子上面连接在一起，下引线头与鼻子侧面相连，从鼻子侧面引出，这样做对于普通小型高压线圈的引线根部可不用玻璃丝绳包扎加固，但对于中型以上电动机的高压线圈的根部仍要用ϕ2mm玻璃丝绳加固较好。

引线头包扎绝缘厚度按表2-37选取。

表2-36　圈式线圈主绝缘用绝缘材料和包扎层数

电动机额定电压(kV) ＼ 绝缘结构部位 材料及包扎层数	B级全粉结构				F级全粉结构				直线及端部永久保护带		
	直线		端部		直线		端部				
	5438-1粉云母带	层数(半叠包)	5438-594多胶粉云母带	层数(半叠包)	8031桐马粉云母带	层数(半叠包)	594硼胺潜固型环氧粉云母带	层数(半叠包)	热收缩带	涤纶带	层数(半叠包)
3	0.14×25	6-7	0.14×25	4	0.14×25	6-7	0.14×25	4	0.1×25	0.1×25	1
6	0.14×25	8-9	0.14×25	6-7	0.14×25	8-9	0.14×25	6-7	0.1×25	0.1×25	1
10	0.14×25	12	0.14×25	10	0.14×25	12	0.14×25	10	0.1×25	0.1×25	1

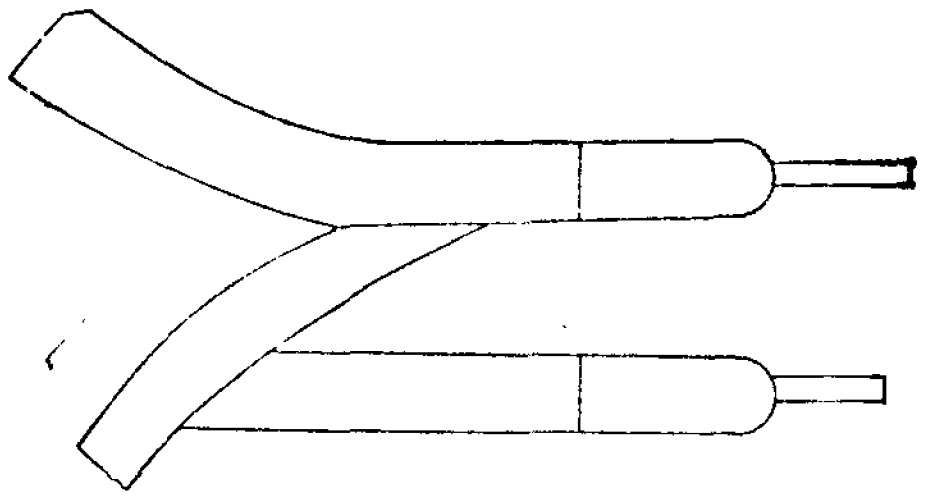


图2-46　引线和线鼻连成整体方式

表2-37　引线头包扎绝缘层数

结构 / 绝缘材料 / 电动机额定电压(kV)	B级全粉结构		F级全粉结构		保护带		
	5438-592多胶粉云母带	层数(半叠包)	8031桐马粉云母带	层数(半叠包)	热收缩带或涤纶带(B)	改型无碱玻玻丝带(F)	层数(半叠包)
3	0.14×25	3	0.14×25	3	0.04×20	0.1×25	1
6	0.14×25	5	0.14×25	5	0.04×20	0.1×25	1
10	0.14×25	7	0.14×25	7	0.04×20	0.1×25	1

（2）手工包扎要求。复用的裸铜线包扎匝间绝缘之前，要对裸铜线进行打磨、砂光、清除毛刺，线头要进行搪锡，并用干净布擦拭铜线。线圈绝缘材料和厚度取决于电动机工作电压高低和耐热等级，所以应按所需绝缘等级进行选择绝缘材料和绝缘规范(如厚度、层数等)。同时在包扎绝缘时，要严格检查绝缘材料质量，不准随意使用不合格的代用料。包扎绝缘的施工场所要清洁，要有通风和防尘装置，以防止绝缘受污染。

高压线圈尽可能采用连续式绝缘。因为全带式复合绝缘线圈端部是用黑玻璃漆布带或沥青云母带，耐热等级只能达到E级；又由于绝缘有接缝，防潮性能也差。套管式复合绝缘在搭接处也

同样存在薄弱环节。而连续式绝缘是在全部线圈上用环氧玻璃粉云母带连续半叠包绕，不存在接缝的薄弱环节。

包扎绝缘时，要求绝缘带的拉力适当，包扎要紧密，并与导线贴紧。因此，每包绕1～2圈，用手指捻紧一次云母带；包对地绝缘带最多3～4圈要捻紧一次；包鼻端应一圈捻紧一次，以防止包扎松弛和皱纹。除此以外，在包扎绝缘时，还要严格按规定的绝缘厚度尺寸和层数进行包扎。每个线圈包绕绝缘带的旋转方向应一致。包带的接头，不应在直线部分接头，应在端部斜边搭接，每层接头要错开。

每包完一个线圈的匝间或对地绝缘后，要检查线圈外形尺寸公差。

线圈匝间绝缘包绕后，需先合股疏包一层保护带；然后经复形，以及进行浸渍处理。各种匝间绝缘的浸渍工艺参数如表2-38所示。

表2-38　匝间绝缘浸渍工艺参数表

类　别	匝间绝缘方式	烘干温度（℃）	烘干时间（min）
1	半叠包环氧玻璃粉云母带	185±5	15～30
2	玻璃丝自粘薄膜绕包线	185±5	5～10
3	浸渍或涂环氧酚醛漆	185±1	15～20

对于线圈包扎层数和防晕处理等要求应严格按交流电动机定子绝缘规范进行。各线圈引出线绝缘长度要一致，一般超过鼻端15～25mm。高压线圈引出线头应呈锥体形状，内锥体长度为60～80mm，外锥体长度为10～15mm，如图2-47所示。

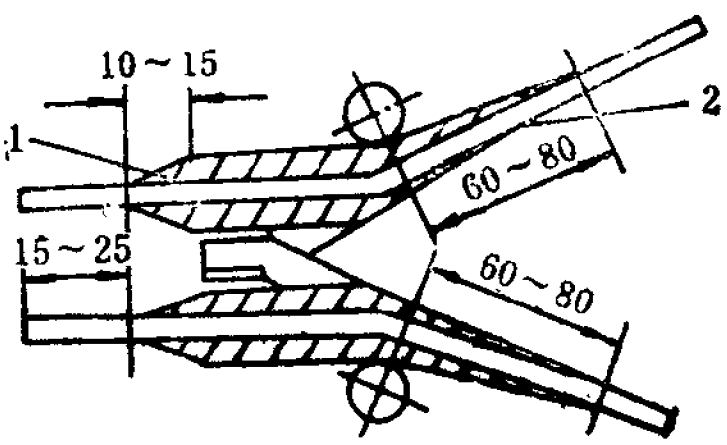


图2-47　线圈引线绝缘情况

1—外锥体　2—内锥体

〔2-42〕　热压高压电动机线圈时，如何确定热压工艺？

答： 首先按原始记录或图纸要求制作检查线圈尺寸的样板，然后检查热压模的角度、节距，以及热压模本体的加工精度和尺寸。6kV级桐油酸酐环氧玻璃粉云母绝缘线圈热压成型工艺，如表2-39所示。

表2-39 热压成型工艺参数表

工序	温度 (℃)	时间 (min)	压力 (MPa)
预热	190±5	3～5	0.1～0.2
全压	180～200	45～120	0.4～0.6
卸模	110～130	—	—

表2-39中介绍的工艺参数，还应考虑所用电磁线的品种。通常电磁线是采用双玻璃丝包扁铜线和高强度聚酯漆包扁铜线，而匝间绝缘一般选用环氧粉云母带包扎。由于双玻璃丝包扁铜线吸胶性好，在相同的热压工艺和压缩量要求下，它的外流胶要比高强度聚酯漆包扁铜线少，所以会造成匝间填充不满。而高强度聚酯漆包扁铜线由于外流胶多，又会造成线圈发空现象。因此，在热压前，要参考表2-39中给出的工艺参数进行增减，使热压后的线圈质量符合要求。

在热压时，要求热压模各部位的温度均匀。线圈放在热压模中，在一定预热温度下使线圈中的环氧均匀流动并分布在绝缘层中。要求在热压时，先加半压，不要加全压，以防胶流失过多线圈绝缘层间发空。当预热时间结束后，才开始加全压，使线圈达到所需几何尺寸。最后将热压模冷却到110～130℃卸模，取出线圈。不可在热态下取出线圈（大于130℃），以防线圈变形。在整个操作中，要求线圈轻拿轻放，以防线圈变形。

〔2-43〕 什么叫半固化模压线圈？有什么好处？具体施工工艺如何进行？

答：重绕高压线圈绝缘时，电动机修理单位大多数是选用多胶粉云母带包扎线圈，做为线圈的主绝缘（即对地绝缘）。所谓多

胶粉云母带是指云母带中胶粘剂含量在36%～40%，然后将线圈直线部分经过热压模模压固化成型，而端部受热较少，且无压力（仅热收缩带有一些压力），所以端部形成不完善的固化状态，称为半固化状态，这种线圈叫半固化模压线圈。这样做好处是：

（1）便于嵌线，尤其2极、4极电动机线圈在嵌入第一个节距的线圈时，线圈的上层边暂不放入槽内（俗称吊把线圈边），要求线圈鼻端绝缘柔软，减少嵌线时对绝缘的损伤。

（2）便于线圈贮存，延长线圈贮存期。

（3）由于采取多胶粉云母带包扎，在线圈的端部外包一层热收缩带，当线圈加热时热收缩带会收缩，迫使线圈云母带中胶受热流动，充满绝缘缝隙当中，这时端部未受热，故可在电动机整体干燥时再收缩压紧端部线圈，使端部绝缘形成坚实的整体。

具体模压工艺如下。

线圈模压的目的是使绝缘密实，各层绝缘粘结成整体，保证线圈有精确的外形尺寸，而线圈端部暂不受压，但由于热量传递给端部，所以端部各层绝缘中胶受热流动，凝固，形成半固化状态。

热压是在热压模上进行，一般修理单位都备有万能热压模（即节距和角度等可调）。

（1）将热压模升温到130±10℃（一般是电加热），将线圈放到下压模上。

（2）放上上压模，将螺栓拧紧，使线圈受压约0.4～0.6MPa压力，不可加压太大，检查是否有压偏现象，如有，要及时纠正。线圈在压力下维持1～2 min后，即减压到0.1～0.2MPa。

（3）线圈在0.1～0.2MPa压力下经5～10min线圈被挤出胶，模具温度开始逐渐上升到160～170℃，在此温度下维持15～20 min。

（4）观察线圈，如两端流出的胶液浓度开始变稠时，增加压力到0.4～0.6MPa，维持45min左右，视线圈大小和绝缘材质而定，然后拉开刀闸降温。

（5）当温度降至130℃时，解除压力卸模。

（6）趁热将线圈放在平台上进行校形工作。

（7）检查线圈外表面应无胶渣尖角和飞边，线圈尺寸和形状应符合图纸或原始记录规定，检查线圈外表面应平直光滑、无明显凹痕损伤现象、不得有发软、烧焦、发黑等现象，做对地耐压、介质损耗角、匝间耐压试验应合格。

〔2-44〕 高压定子模压线圈如何进行嵌线？

答：定子放稳后，先确定出引出线方向。然后清理铁心，包扎好绝缘端箍，按长短引出线头分组，顺次排列线圈。最后挑选出一个节距数目的线圈尺寸公差偏小的线圈留着，作为最后等距的嵌放线圈，槽内要放好垫条。

首先嵌放第一节距线圈的下层边，其上线边临时放置在相应节距槽内的上层部位。为此，先将预热好的第一组线圈的起头长引线线圈的下层线边两端伸出铁心的长度校齐，放置槽口。然后两人配合好，用手掌将线圈边平稳地压入槽内，再用胶皮榔头敲打使线圈边平行落入槽内，然后用打板敲紧线圈边服贴于槽底。最后放入层间垫条压平。嵌放第一组线圈后，应先校准端箍位置，将线圈两端临时绑扎在上面。然后逐个嵌放线圈。

当第二节距线圈开始嵌放时，可正式嵌放上层线边。用打板将槽内两层线边打平和压紧，并将线圈两端下部在端箍上用绑绳或无纬带以双套平结（见图2-48）作永久性绑扎。整理线圈端部形状，两端应低于铁心表面3mm以上。

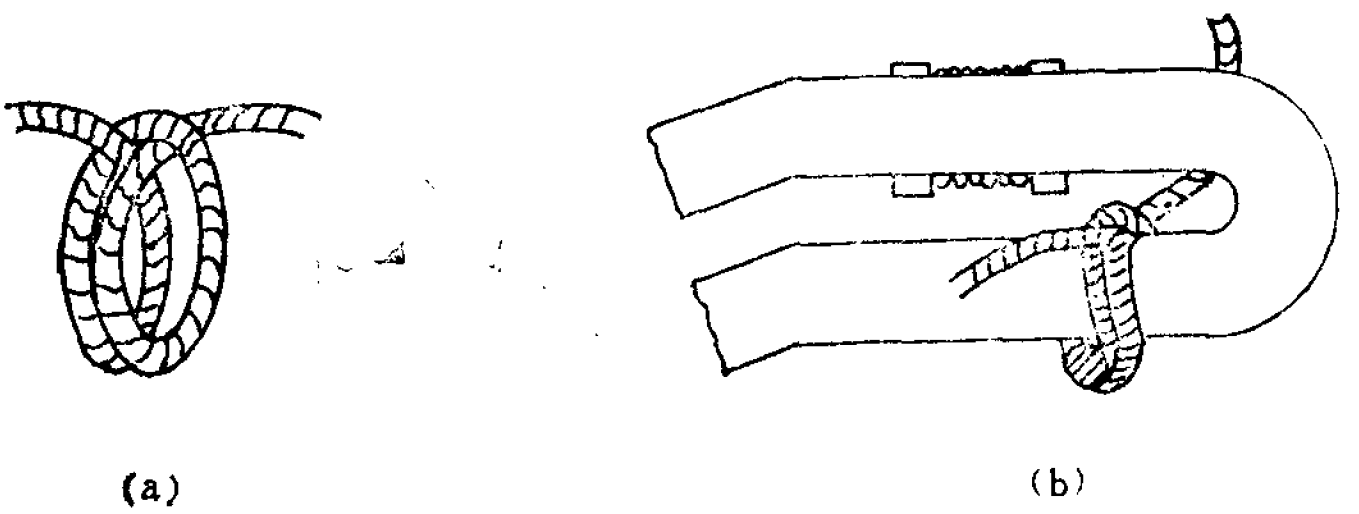


图2-48 定子线圈与端箍的绑扎

(a)双套平结 (b)绑扎情况

自正式嵌放第二节距上层线边开始，需在端部上层斜边的间隙内塞入异形毡垫，并用绑绳将每相邻的两个线圈绑扎起来（见图 2-49）。如果间隙较小，可不塞入异形毡垫。相邻线圈的间隙应等距平行，线圈两端呈喇叭口状。绑扎端箍数及垫块道数，按表2-40选定。

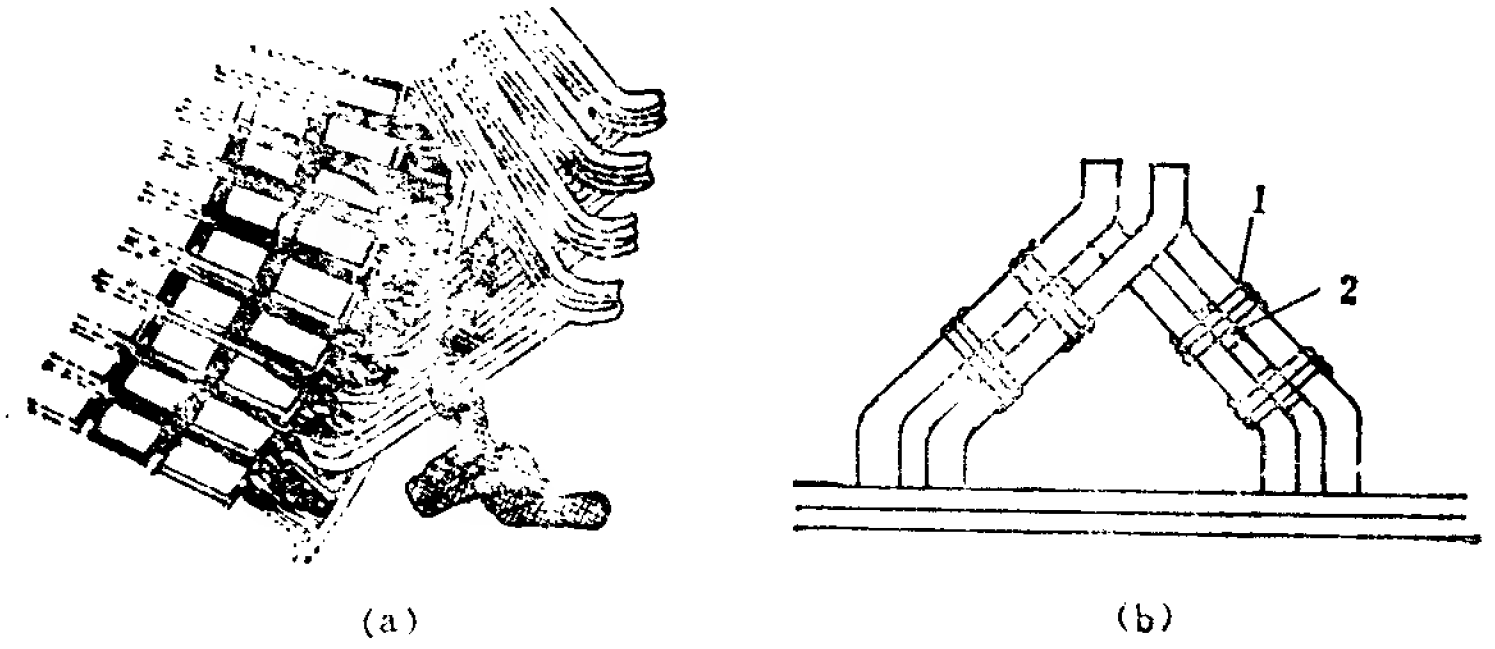


图2-49　定子绕组端部绑扎示意图

(a)用涤玻绳绑扎　(b)用扎绳和异形毡垫绑扎

1—扎绳　2—异形毡垫

表2-40　定子绕组端部绑扎端箍数及垫块道数表

端伸长度 (mm)	500V 及以下低压绕组			3000V及以上高压绕组		
	端箍数	垫块道数		端箍数	垫块道数	
		面　层	底　层		面　层	底　层
120以下	—	—	—	—	—	—
121～150	1	—	—	—	—	—
151～180	1	1	—	1	—	—
181～230	1	1	1	1	1	—
231～300	1	1	1	1	1	1
301～350	2	2	2	2	2	2
350以上	3	3	3	3	3	3

〔2-45〕　电动机绕组连接线和引出线的工艺要求有哪些？

答：定子三相引出线应选在靠近出线盒部位，使引出线长度最短。高压电动机不许采用两个相邻线圈的引线作为三相的引出

线端。6极以上电动机的并联支路超过极对数时，应联成一个圈环并接，引出线个数应按原始记录或要求而定。多路并联的分数槽绕组，要求各并联支路内的线圈数相等。引出线的标志应符合国家标准规定，长短一致，绝缘等级符合要求，符号应标志清楚、引出线截面积应符合电流要求(一般按电流密度为 $4A/mm^2$选择)。

转子的三相引出线焊接及两极绕组的引出线焊接应呈120°圆周均匀布置。线圈连接和焊接前，应将接线头剥去漆膜、砂光。对于扁铜线头、并头套、铜楔、接线鼻等要事先挂好锡面。

对于引接线直径在 ϕ1.35mm 及以下并有 2 根及以下并绕，以及引出线截面在 $8mm^2$及以下者，均可采用图 2-50 所示的并绞接法连接。对于引接线直径在 ϕ1.5mm及以下并有 4 根及以下并绕，以及引出线截面在 $16mm^2$ 及以下者，可采用对绞接法连接。

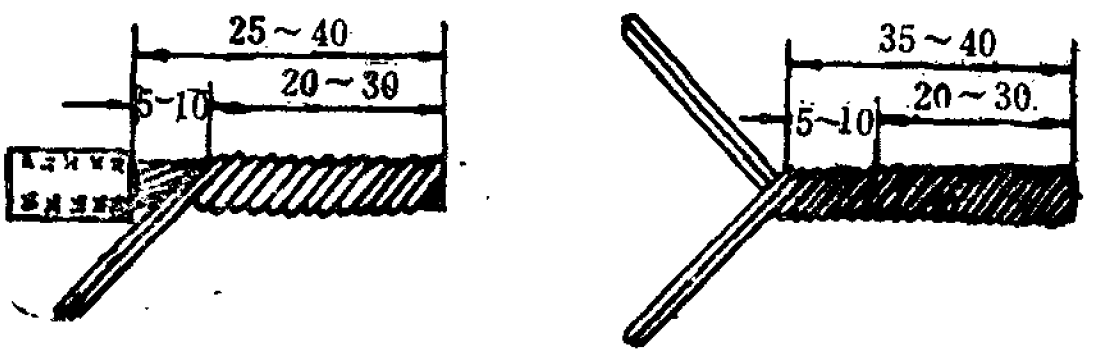


图2-50　并绞连接示意图

对于引接线直径在 ϕ1.5mm以上并有 4 根及以上并绕，以及引出线截面积又在$16mm^2$以上或扁铜线者，可采用图2-51所示的辅助绑扎接法连接。当引出线截面积大于$25mm^2$时，要分两股绑扎连接。采用并头套连接时，并头套长度应在 20～25mm，见图 2-52。接线鼻要包合并打紧，在中间部位要轧压紧坑，线鼻距引出线绝缘约 5～10mm，如图 2-53所示。

要求焊接严密牢固，表面光洁，连接面不应小于导线截面，并头套及接线鼻的规格应符合要求。并头套的开口或进锡孔应朝上，下层端线的弯曲应朝下。带风叶的转子并头套应焊接牢固，风叶平整均布。

引出线的绝缘包扎应按交流电动机绕组绝缘规范进行。要求

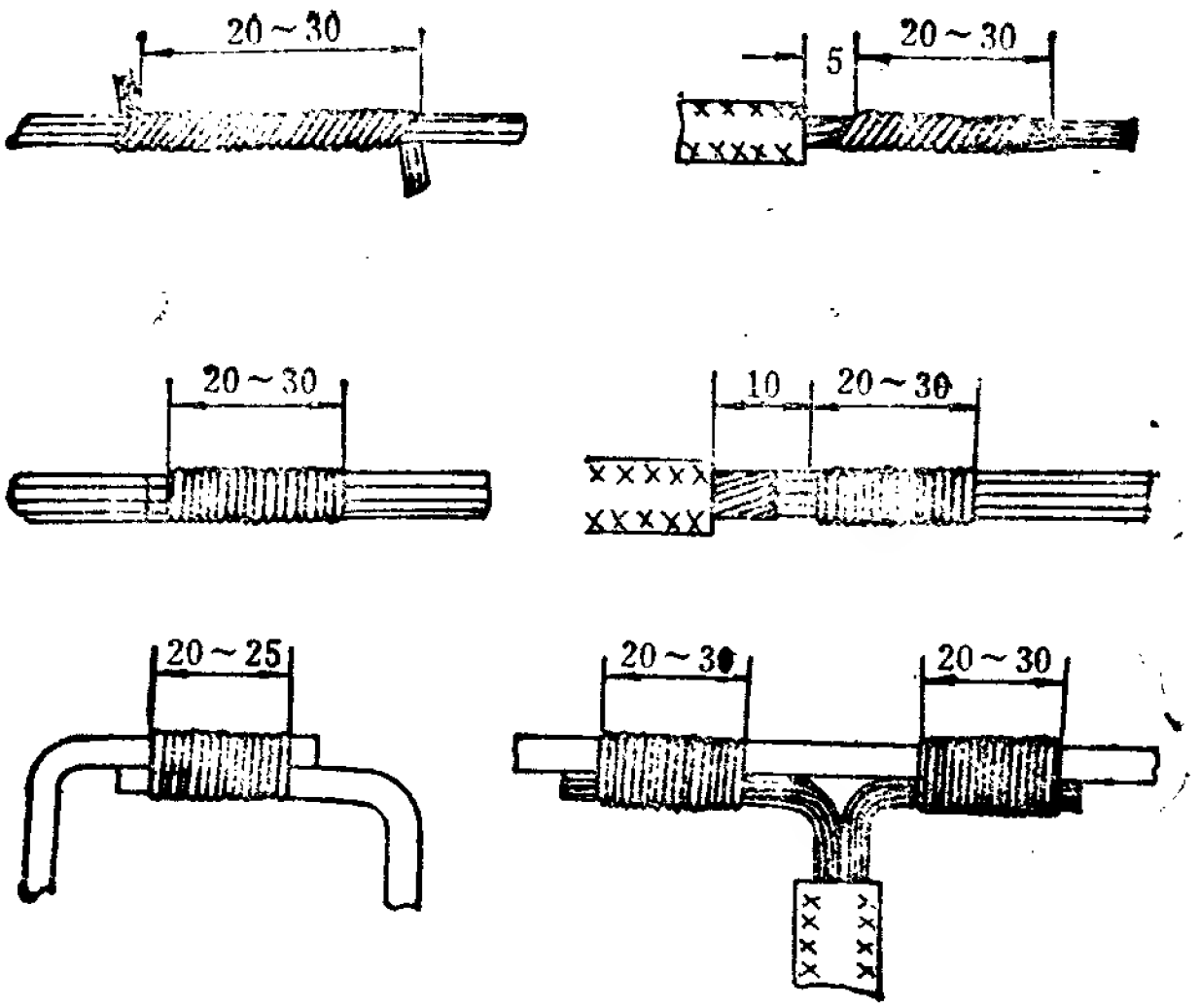


图2-51　辅助绑扎连接图

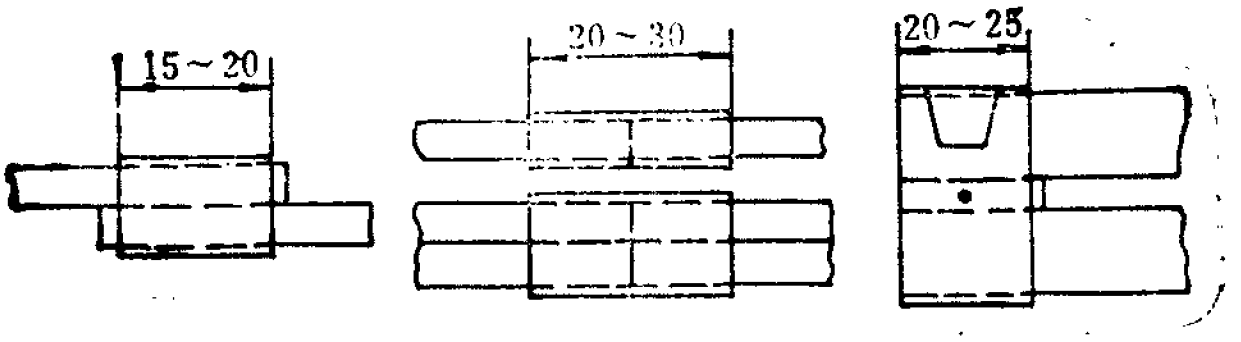


图2-52　并头套连接图

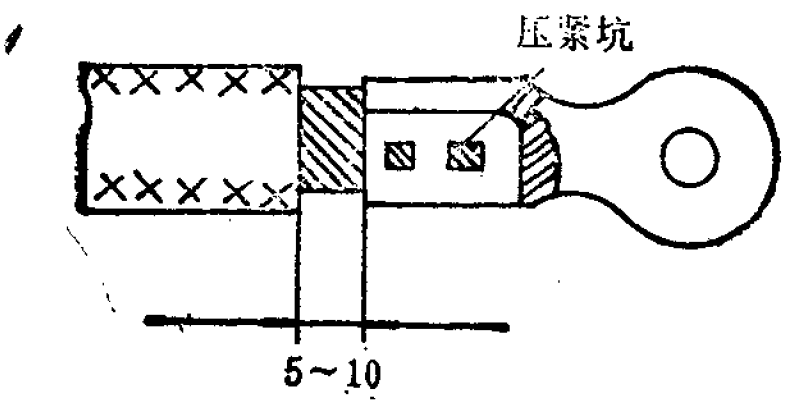


图2-53　线鼻压接图

包扎紧密，无空隙。转子并头套绝缘应包扎整齐，方向一致。

电动机引出线规格见表2-41～2-44所示。其中，JXHQ型电动机引出线规格见表2-41；JVR型电动机、电器用丁腈聚氯乙烯

绝缘引出线的规格见表 2-42；JHXT 型电动机引出线规格见表 2-43；JBX 型电动机引出线规格见表2-44。

表2-41　JXHQ型电动机引出线规格表

标称截面	导电线芯结构		外径	质量	铅质量
(mm^2)	根数	单线直径 (mm)	(mm)	(kg/km)	(kg/km)
0.2	12	0.15	3.3	14	1.4
0.35	20	0.15	3.4	16	3.3
0.50	16	0.20	3.6	19	4.6
0.75	24	0.20	3.8	23	6.9
1.0	32	0.20	3.9	26	9.2
1.5	48	0.20	4.2	32	13.2
2.5	19	0.41	5.3	52	22.6
4	19	0.52	5.8	71	36.4
6	19	0.64	6.4	96	55.8
10	19	0.82	8.1	154	90.5
16	49	0.64	9.8	233	143.2
25	98	0.58	12.1	362	235.6
35	133	0.58	13.1	62	319.8
50	133	0.68	15.4	635	439.6
70	189	0.68	17.8	864	626.2
95	256	0.68	19.9	1148	859.2

表2-42　JVR型电动机、电器用丁腈聚氯乙烯绝缘引出线的规格表

标称截面	导电线芯结构		导电线芯在20℃时的直流电阻(Ω/km)		绝缘标称厚度	电线最大外径	电线计算质量
(mm^2)	根数	直径 (mm)	铜芯	镀锡铜芯	(mm)	(mm)	(kg/km)
0.06	7	0.10	337	364	0.4	1.2	1.7
0.10	12	0.10	197	202	0.4	1.35	2.3
0.12	16	0.10	143	151	0.4	1.4	2.7
0.15	19	0.10	124	127	0.4	1.45	3.0
0.2	12	0.15	85.7	89.6	0.4	1.6	3.7
0.3	16	0.15	64.3	67.2	0.5	1.9	5.3
0.4	23	0.15	43.9	46.8	0.5	2.1	6.8
0.5	28	0.15	36.7	38.2	0.5	2.2	7.8
0.6	34	0.15	30.0	31.6	0.5	2.7	11

续表

标称截面 (mm²)	导电线芯结构		导电线芯在20°C时的直流电阻(Ω/km)		绝缘标称厚度 (mm)	电线最大外径 (mm)	电线计算质量 (kg/km)
	根数	直径 (mm)	铜芯	镀锡铜芯			
0.7	49	0.15	25.4	26.9	0.7	2.9	12
0.8	45	0.15	22.5	23.9	0.7	2.9	13
1.0	32	0.20	17.8	18.9	0.7	3.0	16
1.2	38	0.20	15.1	15.9	0.7	3.3	18
1.5	48	0.20	11.9	12.6	0.7	3.4	21
2.0	49	0.23	8.82	9.33	0.7	4.5	32
2.5	49	0.26	6.92	7.30	1.0	4.8	39
3	49	0.28	5.96	6.30	1.0	5.0	44
4	77	0.26	4.40	4.65	1.0	5.2	54
5	98	0.26	3.46	3.65	1.0	6.0	68
6	77	0.32	2.92	3.07	1.0	6.6	79

表2-43　JHXT型电动机引出线规格表

标称截面 (mm²)	导电线芯结构			铜线质量 (kg/km)	硅橡皮绝缘厚度 (mm)	外径 (mm)	电线质量 (kg/km)
	根数	直径 (mm)	绞线直径 (mm)				
0.75	19	0.23	1.15	7.2	1.25	4.4	27.43
1.0	19	0.23	1.30	9.2	1.25	4.5	30.45
1.5	19	0.32	1.60	13.9	1.25	4.8	37.25
2.5	40	0.26	2.34	23.8	1.50	5.0	58.36
4	40	0.32	2.88	36.2	1.75	7.4	85.88
6	40	0.39	3.51	53.6	2.0	8.5	118.7
10	40	0.52	4.68	95.4	2.0	9.7	173
16	84	0.49	6.10	145	2.0	11.0	238.9
25	133	0.49	7.35	230	2.0	12.4	337.8
35	133	0.58	8.7	322	2.0	13.7	438.2
50	133	0.68	10.2	443	2.5	16.2	613.5
70	189	0.68	12.5	629	2.75	19.0	849.7
95	259	0.68	14.2	860	3.0	21.2	1125.2
120	888	0.41	17.2	1070	3.25	24.7	1406.4
150	1159	0.41	18.4	1392	3.5	26.4	1774
185	1380	0.43	23.2	1720	3.75	31.7	2228
240	1643	0.43	23.9	2170	4.0	32.9	2715

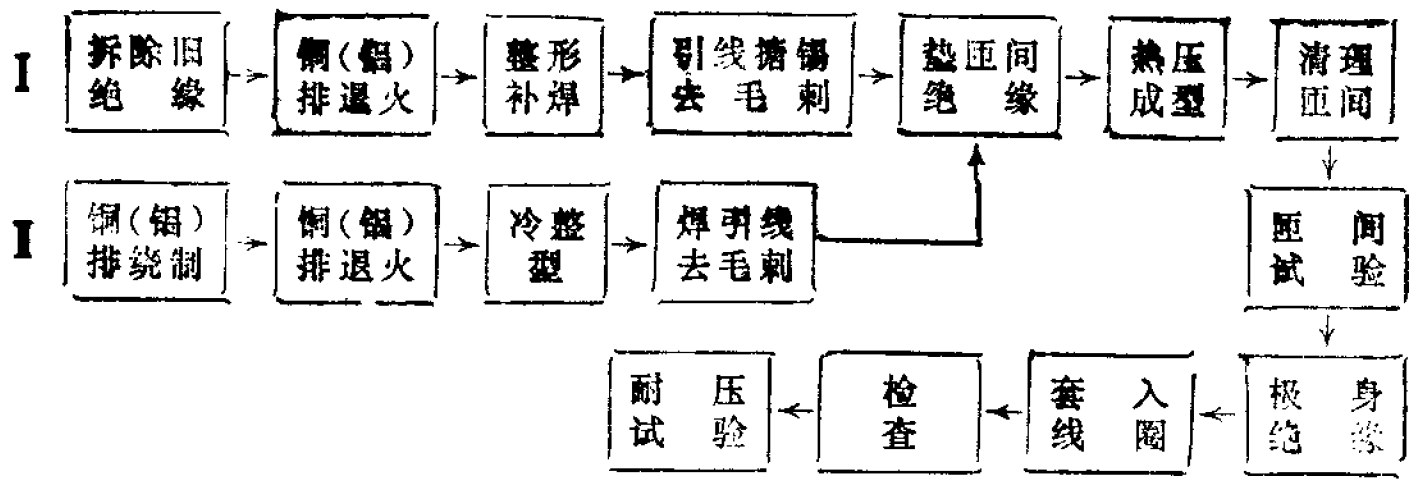
表2-44 JBX型电动机引出线规格表

标称截面 (mm²)	镀锡导电线芯结构			铜线重量 (kg/km)	锡层重量 (kg/km)	丁基橡皮绝缘厚度 (mm)	外径 (mm)	电线质量 (kg/km)
	根数	直径 (mm)	线直径 (mm)					
0.5	16	0.2	0.94	4.6	0.16	1.1	3.9	28.7
0.75	19	0.23	1.15	7.24	0.23	1.1	4.2	33.5
1.0	19	0.26	1.30	9.24	0.25	1.1	4.3	36.9
1.5	19	0.32	1.60	14.0	0.34	1.1	4.6	44.6
2.5	49	0.26	2.34	23.8	0.62	1.1	5.3	62.4
4	49	0.32	2.88	36.1	0.90	1.1	5.9	79.5
6	49	0.39	3.51	53.7	1.3	1.1	6.5	103.6
10	49	0.52	4.68	95.6	1.8	1.1	7.7	157.2
16	84	0.49	6.10	141.5	2.5	1.4	9.7	239.2
25	133	0.49	7.35	230	4.0	1.4	11.0	340.8
35	133	0.68	8.17	321	5.2	1.8	13.1	489.3
50	133	0.68	10.2	444	7.0	1.8	14.7	625.2
70	189	0.68	12.55	630	10.0	1.8	17.0	848.1
95	259	0.68	14.28	864	13.0	2.0	19.1	1168.3

〔2-46〕 同步电动机磁极线圈绝缘如何修复？

答：

（1）同步电动机线圈修复工艺流程如下，Ⅰ为表示复用旧线的工艺流程，Ⅱ为表示更换新线的工艺流程。



（2）清除旧绝缘。同步电动机磁极线圈通常是用矩形截面的裸铜（铝）排扁绕而成。匝间绝缘是采用环氧酚醛玻璃坯布垫入每匝之间，并经热压而成。修理磁极线圈时，往往是利用旧铜（铝）线，并把烧损部分切除，按原材料规格进行补焊，打磨后重包绝缘修复。

为了复用旧铜线，就需要清除铜排间的旧绝缘。对于已老化的绝缘，可以很方便地用改锥或专用铲刀将铜排一匝一匝撬开，匝间绝缘很易剥掉。在剥的过程中，保持铜线不发生很大变形时，可不经退火处理。如果匝间绝缘粘结很牢，可把旧线圈放入烘炉内加热300～350℃，使绝缘老化变脆，然后再用铲刀将匝间绝缘剥开去掉。对于铜材线圈也可放在浓度为15%左右的烧碱水溶液中经70～90℃煮浸，经3～4 h以后，便可拆掉旧绝缘。

（3）新铜（铝）排的绕制线圈。如果旧铜线烧毁严重无法复用，或更换新导线（增大截面积降低铜耗或采用不同材质）时，则需采用新规格铜（铝）排绕制线圈。线圈的绕制过程是在专用的扁绕机上完成，卸模后需经退火处理。

绕线前要做好原始记录，确定出线圈匝数、线圈的几何尺寸，做好绕线模具。检查绕线机是否正常，润滑部位需加油。装绕线模，固定好之后，空转试车，一切正常后才能绕线。

其次要检查铜（铝）线尺寸和公差，是否符合要求。软铜扁线（TBR）和软铝扁线（LBR）公差范围列于表2-45内。

在绕制过程遇到接头时，须在线圈长度方向的中间部位焊接，焊后锉平焊口，应无显著缺陷。绕线圈的留头长度应符合原始记录或图纸要求。

表2-45　软铜扁线和软铝扁线公差范围　　（mm）

软铜扁线（TBR）		软铝扁线（LBR）	
宽度及厚度尺寸	允许公差	宽度及厚度尺寸	允许公差
1.25～1.95	±0.03	0.9～1.16	±0.03
2～2.83	±0.04	1.25～1.95	±0.04
3～4.5	±0.05	2～2.83	±0.05
4.7～9.3	±0.07	3～4.5	±0.06
10～14.5	±0.09	4.7～9.3	±0.08
15.6～20	±0.12	10～14.5	±0.10
22～25	±0.15		
26.0～35	±0.20		
40～55	±0.25		

（4）导线退火。最好在无氧退火炉中进行，能保证铜线不被氧化，达到退火温度和保温时间后，将导线迅速投入冷水中退火。铜线放入退火炉内时，要考虑线圈放置应使其受热均匀，不可堆放在一起，否则加热后变形严重。铜材退火温度为620～650℃，铝材退火温度为350～450℃。保温时间与导线厚度有关，见表2-46中规定。

表2-46　保温时间与导线绝缘厚度关系

导线厚度(mm)	1.5～2.5	2.51～5	5.01～8
退火保温时间(min)	45	60	80

如果无有退火炉，可用通大电流加热导线办法，为此，需将各匝导线用耐火材料隔开，然后通入大电流加热。电流的选择，视导线截面积大小而定，通常在1000～2000A左右。加热至樱桃色（620～650℃）后停电，将铜线迅速投入冷水中退火。

（5）整型及补焊。退火后的线圈如有严重的锈斑，需除锈后再进行冷压整型工作。把经过退火的线圈放在冷压模内进行冷压整型（无冷压模可用热压模代用），在油压机上进行。压入模心，在线圈上面放置好上压圈，然后进行整型。用木榔头敲打线圈。在垂直加压力的同时，也要增加一定侧压。冷压后的线圈内径尺寸必须大于线圈名义尺寸1mm以上，只有这样才能保证热压成型后的线圈尺寸。

压力大小取决于铜（铝）排截面积，当截面积为50～200mm^2时，单位压力为40～50MPa。

旧铜（铝）线退火、整型后，对于有断裂和烧损的部位还需补焊。铜线采用磷银铜钎焊，铝线宜采用氩弧焊接。焊后要清理毛刺，并使其表面光滑。

（6）焊引线头和去毛刺。按原始记录或图纸标志的引线位置焊接引线头。焊后清理毛刺和焊渣，并排除线圈中的各种缺陷，然后进行搪锡，要求搪锡表面光亮无黑斑，最好将整个线圈清擦干净，擦去油污和脏物。

（7）垫匝间绝缘。垫环氧酚醛玻璃坯布之前，先将已清理好毛刺和油污的线圈用木榔头整好形状，然后将线圈放入本心内。如果由两人同时操作时，必须把绝缘垫搭好。线匝首末两匝要比其余匝多垫一层，并且要加强绝缘（比如用玻璃丝带半叠包一层等等）。垫好绝缘后用布带捆好，以防松散和绝缘移动位置。

（8）磁极线圈热压工艺：

① 使用工具和设备。油压机、磁极线圈绝缘用热压模、热压时加热用的直流机组或其它控制设备、冷却用的电风扇、工作台。使用的工具有钳工工具（如钢板尺、千分尺、卡尺、铲刀、剪刀、油石）、木锤、温度计（0～200℃）、测量线圈高度用的量具等等。

② 主要材料。环氧酚醛玻璃坯布0.14～0.16mm厚，绝缘纸板（辅助材料）0.2～0.5mm厚，棉纱、丙酮、甲苯、酒精等。

③ 热压工艺：

（a）线圈预热。线圈未套入热压模之前，先通电加热，5min后使线圈温度达50～60℃，坯布软化，切断电源。

（b）线圈套入模内。线圈套入模心之前，先将线圈内凸出线圈的坯布用手沿压模四周往下按倒，衬入0.2mm厚绝缘纸后才能套入模心。使线圈胀紧，形状端正。如果线匝有扭斜，可用木槌在线圈两对称端面敲正，用直角尺对准，然后用万用电表检查线圈与压模之间是否短路。

（c）热压。线圈放在压床上，预加一些初压力，使线匝和坯布靠紧。线圈通入直流电，经4～8min左右升至100～110℃开始逐渐施压。电流大小根据导线截面积和匝数决定，一般是300～450A左右。当温度升至160～170℃左右时，可加全压。

压力选择：

中小型电动机，按3～5 MPa。

大型电动机，按6～10MPa。

不要一次加压使线圈高度尺寸达到要求，这样会使线圈尺寸压小；相反，加压时间太慢，又会因绝缘固化线圈尺寸压不下去。

所以要根据不同线圈选择不同的时间和压力，逐步加热加压，达到所需尺寸后保持一定压力和温度。

（d）保温保压。温度控制在155±5℃，保温时间应根据铜线规格、电动机大小、所加电流大小来决定（小电动机为30～40min，大电动机为45～90min）。

热压第一个线圈时，用温度计测量线圈表面温度为120～140℃，确定此时电流大小，热压第二个线圈时，就保持这个电流值不变，测量线圈中间温度，通常线圈中间温度与表面温度差20～30℃。

（e）切断电源。在压力下，用铲刀迅速清理热压坯布的边缘，要细心，不要把铜线刮破。坯布应比铜（铝）线两边各宽出1mm左右。

清理完后，打开电风扇，线圈在压力下进行冷却。冷却至50～60℃（约25～30min）脱模，解除压力，取出线圈。

④ 质量检查。线圈表面颜色呈黄褐色为正常，黑色不好；线圈整体性良好；线圈高度尺寸合适；匝间短路试验合格。

⑤ 注意事项：

（a）匝间绝缘环氧酚醛玻璃坯布存放稍有过期时，必须刷上环氧酚醛漆。其配方：

环氧树脂	6101或634	60%
酚醛树脂		40%
稀释剂	丙酮：酒精为1:1	
粘度	用比重计测量为1.01～1.04	

（b）升温尽可能快些。当稍有流漆时，就逐步加全压。加压时间和温度必须掌握好，以保证线圈尺寸和整体性。对于稍过期的坯布升温速度应更快些，加压时亦早些，防止压不下去。

（c）磁极线圈匝间已垫好坯布时，就应当天热压完毕，已过期很久的坯布不许再用。

（d）通电热压时，线圈出线头与电源夹头应夹紧。卸夹时应在电动机停转后才能松夹，以防烧伤引线铜片。

（e）热压前，检查坯布在铜（铝）排与垫的情况如何，垫偏或漏垫的应补垫好。

（f）清理线圈时应戴口罩，防止玻璃丝粉末吸入口内。

〔2-47〕 同步电动机磁极线圈怎样进行装配？

答：

（1）极身绝缘工艺按表2-47选取。以中小型电动机为例，首先在极身包绕0.24mm厚的玻璃丝布2 $\frac{1}{2}$ 层，为了最后折回包住主绝缘，要求其两边各比极身长出50mm左右。将环氧酚醛漆均匀涂刷在极身和玻璃丝布的各层间，并用1000W的熨斗将绝缘熨平。然后再包绕高度与极身相等的环氧玻璃坯布中间夹一层醇酸云母箔的绝缘包5 $\frac{1}{2}$ 层。层间涂刷环氧酚醛漆一遍，并熨平。这时将预留的50mm长的玻璃丝布折回来包住主绝缘，并在最外面包绕与极身等高的0.24mm厚的玻璃丝布2 $\frac{1}{4}$ 层，层间仍涂刷环氧酚醛漆，最后熨平为止。

表2-47 磁极线圈绝缘结构

绝缘名称	材料	规格（mm）	数量	备注
匝间绝缘	环氧酚醛玻璃坯布	0.14	2层	首末各2～4匝垫4层
磁极托板	环氧酚醛玻璃布板	≤12 ≥15	2个 2个	中小型电动机 大型电动机
极身绝缘	环氧酚醛玻璃布板压制件			大型电动机
	环氧酚醛玻璃坯布 醇酸云母箔	0.14 0.10	2层 4层	中小型电动机
	环氧酚醛玻璃坯布 聚酰亚胺薄膜（两层坯布中间夹薄膜）	0.14 0.05	5层 3层	耐热电动机

极身绝缘包好后，要进行套磁极线圈工作。

（2）线圈套入磁极工艺：

① 需用材料、工具、设备。酚醛胶板、0.5mm厚胶纸板、凉干灰瓷漆（1321）、红钢纸、工作台、喷漆设备、秤（精确度0.5kg）、吊磁极和线圈工具。

② 工艺准备。检查磁极铁心和线圈完好情况，如有缺陷要及时修复，并用压缩空气吹去杂质和灰尘。

③ 工艺过程。为使线圈套入磁极后各磁极重量保持平衡（便于找动平衡），对于新制的线圈和绝缘垫板，要分别称量重量，然后进行配重。

（a）称重。如果是旧线圈和绝缘板，只按原始记录的编号“对号入座”即可。如果是新制线圈和绝缘垫板，需分别称出重量，然后进行配重。

（b）配重。要求转子直径相对方向的两个磁极重量相等或相差0.5kg以下。比如有5个磁极线圈和磁极铁心、托板，称重和配重结果列入表2-48内。

表2-48 磁极配重表 (kg)

编号	线圈重	磁极铁心	托板	磁极总重
1	46	52	2	100
2	47	51	2	100
3	48	50	2	100
4	49.2	49	1.8	100
5	50	48.2	1.8	100

将线圈、磁极铁重、托板配套后，编上号码。

（c）套线圈。用压缩空气吹净线圈、铁心和托板表面灰尘，必要时清扫、擦拭。然后将上托板套入铁心内，用吊装工具把线圈套入铁心，再套入下托板。检查线圈和上下托板的总高度，如果比原始记录低，可在线圈和托板之间垫入酚醛胶板，并用玻璃布带扎紧，垫入后，用一米长杠杆由一人压住线圈检查高度，有弹簧者，公差为±1mm，无弹簧者，公差为$\pm\frac{1}{0}$mm，总高度应考虑弹簧垫板。

调整线圈与铁心之间的间隙使之均匀，并用胶纸板填塞线圈

与铁心间的间隙内，保证线圈不能晃动。

全部线圈套好后，做对地耐压试验、用压缩空气吹净磁铁表面，最后喷1302漆。

（d）质量检查及标准。在操作中勿损伤铁心和线圈绝缘；铁心与线圈之间的间隙要塞紧，不许松动；套装后的线圈和托板总高度应与铁心高度相等或符合原始记录；用一米长杠杆，由一人压线圈后，有弹簧者，高度公差±1mm，无弹簧者为 $\pm\frac{1}{0}$ mm。两磁极在直径相对位置重量应相等，或相差不超过0.5kg。勿使灰尘、杂物落入线圈和铁心绝缘内。

〔2-48〕 电动机绕组浸渍处理的目的是什么？

答：电动机重绕线圈后要进行浸渍处理，其目的是：

（1）提高机械强度。电动机线圈重绕后，尤其低压电动机重绕后，电动机绕组是由各种绝缘件组成的一个松散体，如槽楔、槽绝缘、各种垫条垫纸、端部垫块，以及线圈本身各线匝等等都是松散的，如果不经浸渍处理，电动机运行时在电磁应力和电磁振动以及热胀冷缩产生的机械应力作用下，很快就会使各线匝磨损和松散，各部绝缘遭到损伤，尤其温升高、正反转的电动机，损坏更快。但用绝缘漆浸渍处理后，将电动机所有绝缘件、绝缘材料表面和毛细孔内全部浸入绝缘漆，粘结成一个整体，使绕组机械强度提高，可增加绕组耐各种应力的作用，从而提高电动机使用寿命。

（2）提高绕组导热性和耐热性。电动机重绕线圈在未经浸渍处理前，绝缘结构中各种绝缘材料内部都有微孔存在，各组合绝缘件之间也有空气隙，这些微孔和空气隙内充满空气，空气又是不良的导热体，影响电动机散热。如果电动机经浸渍后，让绝缘漆填充入各个绝缘材料的微孔和毛细管，以及所有空气隙内，则导热性就会大大提高，因为绝缘漆导热率为空气的5倍，即绝缘漆的导热率为0.14～0.16W/(m·K)，而空气为0.025～0.03W/(m·K)。普通浸漆的电动机温升比不经浸漆的电动机温升可

降低10 K，真空浸漆电动机又比普通浸漆的电动机温升降低5K。

电动机被烧毁不是取决于电动机的平均温度，而是取决于绝缘的最热点的温度。一台电动机绕组各点温度并不相同，相差20℃之多，电动机经浸渍后，使最热点温度降低，从而提高了电动机的耐热性能。

（3）提高绕组抗外界环境能力。电动机通常是处于有潮湿、碱、盐以及其他有害气体环境中运行，导致绝缘性能加速劣化，甚至发生绝缘击穿现象。电动机绕组经浸渍处理后就能够减缓外界环境的侵蚀速度和程度。所以在恶劣环境中使用电动机的要求条件：

①如果沉浸有溶剂漆时，要求浸三次；②如果沉浸少溶剂漆和无溶剂漆时，要求浸二次；③如果采用滴浸无溶剂漆时，滴浸一次后，再加上沉浸或浸渍一次绝缘漆。

（4）提高电气强度。空气的击穿强度远远低于电动机各种绝缘材料，又由于空气隙相对介电系数最小，而承受电场强度最高，当电动机绝缘浸渍处理后，用绝缘漆代替空气的空间，提高了介电系数和承受电场强度的能力，此外，绝缘漆填充各绝缘间隙和毛细管之后，能改善电场分布，还起修补绝缘薄弱点的作用，因此提高了电动机的绝缘电气强度。

〔2-49〕 中小型交流电动机定子绕组绝缘浸渍干燥的工艺内容有哪些？

答：中小型交流电动机定子绕组绝缘通常是浸1032三聚氰胺醇酸浸渍漆，溶剂为二甲苯或甲苯（工业纯度），浸渍两次，重要场合浸渍三次。漆粘度第一次是22～26 s（20℃涂料，4号粘度计），第二次是30～38 s。

浸漆场所要通风良好，清洁干燥，定期检查空气中有毒气体含量，不可超标。

目前修理单位为了提高生产率和节能，改用快干1032绝缘漆，即1038绝缘漆。此漆性能指标与1032漆相同，只是烘干时间缩短一半，因为是有溶剂漆，所以浸渍遍数仍然不能少于两遍。具体

浸渍工艺规范见表2-49所示。

表2-49　1032、1038绝缘漆浸渍干燥规范

工序名称	处理温度（℃）	时间		绝缘电阻稳定值（MΩ）
		1032漆	1038漆	
工件预烘	120±5	5～7h(H80～160) 9～11h(H180～280)		>50 >15
第一次浸漆	60～80	大于15min		
滴　漆	室温	大于30min		
烘　干	130±5	6～8h(H80～160) 14～16h(H180～280)	3～4h(H80～160) 7～8h(H180～280)	>10 >2
第二次浸漆	60～80	10～15mim		
滴　漆	室温	大于30min		>1.5
烘　干	130±5	8～10h(H80～160) 16～18h(H180～280)	4～5h(H80～160) 8～9h(H180～280)	>1.5

浸漆前要检查电动机绝缘和绕组不应有损伤和污迹，引出线的连接和绑扎应完好。用压缩空气清扫电动机内部，并用漆刷、擦布将电动机绕组和内部清理干净。

电动机在炉内堆放不许超过三层，并要固定好，尺寸大的电动机应放在干燥条件好的地方。要求烘房内通风良好，加热温度均匀，温度控制前期在120±5℃，后期130±5℃。

具体烘干要求：

（1）加热前，先鼓风，以30℃/h速度升温，温度控制在120±5℃。

（2）电动机绕组白坯预烘阶段，每隔1h测一次绝缘电阻值，并记录，直到绝缘电阻值上升并连续稳定3h以上（电阻值变化小于10%），并不少于预热规范规定的时间为合格。

（3）第一次、第二次浸漆干燥工艺按上表2-49进行。

质量检查方面：

（1）浸漆烘干后绕组表面漆膜应光泽、均匀，用手触摸不粘

手，稍有弹性，漆膜表面无裂纹和皱纹。

（2）浸渍用漆粘度要合格。漆罐内使用的漆每周要检查一次固体含量。每季要清理一次漆槽并滤清一次。每半年按漆的标准检查一次绝缘漆性能。

（3）绝缘漆要妥善贮存、防火，通风良好，定期检查空气中有毒含量，不可超标，浸漆场所要清洁。

（4）烘干时间不应小于表2-49中规定最少的时间。

〔2-50〕 在定子膛内如何热压修复高压线圈绝缘？

答：采用这种修复局部高压线圈绝缘方法，可节省电动机修理费用，同时也能够保证修理质量。

首先查清是线圈的上层边出故障，还是下层边出故障。对于上层边故障，可打出故障线圈上面的槽楔后，将故障线圈的上层边抬出槽外进行处理；对于线圈的下层边故障，还要把与故障线圈有关的一个节距内的线圈的上层边全部起出，才能把故障线圈的下层边起出来进行处理。为了保证起线圈时不损伤绝缘，要在线圈加热状态下进行操作，一般是通电加热至80℃左右。不论是处理上层边还是下层边绝缘，均可在定子膛孔内进行绝缘的包扎和热压，这既有利于在现场修复线圈和缩短检修时间，节省材料，又能保证质量，是一项行之有效的施工工艺。

下面介绍具体修理工艺，并以处理线圈上层边的绝缘故障为例。

（1）查明故障线圈后，首先将故障线圈上面的槽楔打出；然后将故障线圈的上层边抬出。对于沥青胶绝缘的线圈，需事先加热达80℃左右，目的是软化沥青胶，增加胶的塑性。对于粉云母绝缘的线圈，宜加热到100℃左右。为了防止线圈绝缘机械强度降低，对于绝缘已接近老化的线圈，线圈在槽内松动，在起线圈时也可不经加热。总之，视具体情况而定。加热方法可采取线圈通电或局部烘烤等方法。

（2）为了将线圈的上层边起出槽外，要特别注意长期运行后沥青云母带绝缘的线圈会膨胀，线圈绝缘堵塞通风槽口。因此，

在抬出线圈时为防止线圈弯折和损伤绝缘，在线圈直线部分需要多扎几道，使线圈受力均匀。

（3）线圈抬出后，先查明故障点，然后用电工刀清理故障处周围烧焦的绝缘。要把烧焦的绝缘清理干净，露出好的绝缘。

（4）为了增长包扎绝缘处的爬电距离，需先用电工刀在清理绝缘处削成绝缘坡口，坡口长度一般为50～100mm。然后用干净刷子清理绝缘粉末和残渣，并检查匝间绝缘的质量情况。如果匝间绝缘完好，在削坡口时千万不要损伤匝间绝缘。如果匝间绝缘亦烧伤，还要继续清理烧焦的匝间绝缘。匝间绝缘可用玻璃丝带或“三合一”粉云母带包扎。

（5）将故障绝缘清理后，在包扎新绝缘之前，需先用酒精或丙酮清洗处理过的绝缘部位和导线绝缘，并清除残余绝缘物，然后在导线表面涂刷一遍环氧酚醛树脂漆。包扎新绝缘采用玻璃丝带包扎导线绝缘，和用“三合一”粉云母带半叠包扎匝间绝缘。包扎尺寸和层数应与原始记录相同，或按规范进行。

（6）匝间绝缘处理好后，要先对线匝进行整理，使各线匝间靠紧，然后就可以包扎对地绝缘。但在包扎对地绝缘之前，还要在坡口处喷一次环氧酚醛树脂漆，最后按电动机的电压等级选择包扎绝缘带的层数。要求叠包后的厚度应比原来的增厚15%～20%，目的是经热压处理后，厚度要被压缩20%～25%。包扎后，在绝缘最外层再包扎一层0.05mm厚的聚四氟乙烯薄膜或聚酯薄膜。

对于原来是沥青云母带包扎的线圈，在修理时均要改为粉云母带包扎。

（7）将包扎好的线圈套入如图2-54所示的模具内，加好上压模，用压紧螺钉把线圈轻轻压上。先不要压得过紧；然后在两个孔内各插入1～2kW的管状电加热元件，加热元件的长度视线圈直线长度而定。压紧螺钉可按每隔100mm装设一个。

（8）当线圈温度上升到120℃时，绝缘开始软化。这时，可对称地扭紧压紧螺钉，进入初压阶段。当温度达140℃左右时，扭

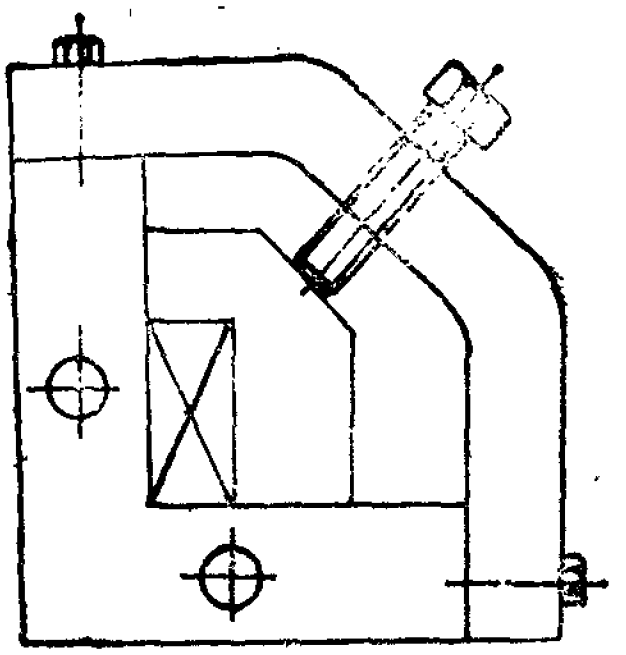


图2-54　放在定子膛内的热压模具

紧压紧螺钉，使绝缘厚度（即线圈外形尺寸）达到所需尺寸公差，然后在 170±5℃下保温 2 h 左右。停电后进行冷压，待模具冷却到100℃以下，再取出电热元件，并扭开压紧螺丝，取出上压膜，最后取出线圈。如果是沥青胶云母带，加热温度应控制在90℃左右，扭紧压紧螺丝后，再使温度上升100℃，并保温2 h，最后停电和冷却到室温后卸模。

第三章　绕组改装技术问答

〔3-1〕　老系列电动机改造成高效率电动机都有哪些好处？

答：老系列电动机采取节能挖潜改造措施，达到高效率电动机时，有以下好处：

（1）电动机运行的可靠性提高。由于高效率电动机总损耗经改造后降低，所以电动机温升下降，绝缘寿命延长，从而提高了电动机运行的可靠性。

（2）电动机噪声和振动降低。这是由于改装成高效率电动机时所采取一系列的改造措施都有利于降低电动机噪声和振动，比如采用了合理的或先进的绕组型式、合理的槽配合和较低的气隙磁密、电密等等，电磁噪声必然降低；又由于选用高效风扇或减小风扇外径，采取优质润滑剂等，使通风和摩擦噪声也有所降低。这样一来可使改造的电动机噪声比普通电动机降低5～13dB。

（3）节能。由于高效率电动机总损耗减少，所以在保持输出功率不变条件下，高效率电动机的输入功率比未经改造前要小一些，所以，可以节能。例如上海人民电机厂生产的55 kW 2极三相异步电动机，效率为94.03%，比目前Y系列三相异步电动机的效率91.4%高出3%左右。一台这样的电动机价格假定为5850元，而普通电动机为每台4500元，可见要多花1350元，但若电动机每年连续运行5000 h，电费按0.30元/(kW·h）计，负载率为85%，则每采用一台高效电动机，一年节省的电费为：

$$M=55\left(\frac{1}{0.914}-\frac{1}{0.94}\right)5000\times0.30\times0.85$$

$$=2103.8(\text{元})$$

即一年节电费为2103.8元，电动机的总投资不到三年便可全

部偿还。

此电动机运行20年后，电动机节省的电费为：

$$M=2103.8\times20-5850=36226\ (元)$$

（4）不允许继续使用的高能耗电动机，经改造后可以延缓淘汰，如J2、JO2系列电动机，由于能耗高，国家已规定不许再制造和使用，但是如何经过技术改造，提高电动机效率，就可允许延缓淘汰，这对一个企业可节省一大笔费用。

〔3-2〕 提高电动机效率都有哪些措施？

答：为了提高电动机的效率，就要尽可能地减少电动机产生损耗的各种因素。如尽可能降低绕组电阻、磁通密度和输入电流。但是，为了使电动机有足够的输出功率，又不能无限度地减少输入电流或磁通密度，因此，要提高电动机效率就必须进行合理的修理计算，选用优质材料，并且采用先进工艺：

（1）修理电动机时要有合理的计算。通常电动机输出功率P_2可用下式表达。

$$P_2=KB_\delta a_w D_2^2 l\ (W)$$

式中 K——常数

B_δ——气隙磁通密度

D_2——转子直径

l——铁心长度

a_w——转子表面的单位长度的安匝数

由于电动机的输出功率与电负载a_w和磁负载B_δ的乘积成正比，所以合理分配它们能够达到提高电动机效率的目的。

为了提高效率，可减少槽内导体数，增加铁心厚度，以增加导体截面积，降低铜耗。为了降低铁耗，除增加铁心厚度之外，还可以选用优质牌号硅钢片，使铁损耗大幅度地降低。

由于电动机的铜耗和铁耗降低，电动机的发热量减少，冷却风量可减少，因此可缩小冷却风扇外径以降低电动机的机械损耗。

下面介绍提高电动机效率重绕计算的各参数之间关系。

① 将铁心厚度 l 增到 l'。

② 保持电动机输出的各参数大致不变，如堵转转矩、最大转矩、额定转矩等，可按下式确定线圈的匝数：

$$W_1' = W_1\sqrt{\frac{l}{l'}}$$

式中 W_1、W_1'——分别表示原绕组匝数和加长铁心后的绕组匝数

③ 当线圈的槽满率保持基本不变时，嵌入定子槽内的导线线径：

$$d_1' = d_1\sqrt{k_c\frac{W_1}{W_1'}}$$

式中 d_1、d_1'——分别表示原来或重绕后的导线线径

k_c——槽满率

④ 提高铁心硅钢片的等级。比如，以牌号D24的硅钢片代替牌号D11的硅钢片时，电源频率为50Hz，则磁通密度约为1.57T的铁耗将从5.2W/kg降至2.1W/kg。

⑤ 根据以上措施，磁通密度：

$$B' = B\frac{l}{l'}\cdot\frac{W_1}{W_1'}$$

式中 B、B'——分别表示原有的磁通密度和改进后的磁通密度

⑥ 定子绕组电阻：

$$r_1' = r_1\frac{W_1'}{W_1}\left(\frac{d_1}{d_1'}\right)^2 K_e$$

式中 $K_e=\dfrac{l_1'+l_e}{l_1+l_e}$

l_e——线圈端部长度

r_1、r_1'——表示原来的和重绕后的线圈电阻

按照上面介绍的参数关系，可求出铁耗和铜耗。

按一般公式可以计算出铁耗，实际计算时采用硅钢片的铁损耗曲线进行计算更为方便，即$P_{Fe}=W_1\times$铁心重量。

在具体计算时，先求出铁轭和铁齿部分的磁通及相应的重量，然后求出它们的总和，便可计算出总的铁心损耗。

电动机由于存在齿槽，线圈是嵌入铁心槽内，因此使定、转子间气隙磁通分布不均，造成铁心损耗比电工硅钢片的原有的损耗增大许多。也就是说，电工硅钢片的铁耗是以正弦交变磁通为前提而得到的结果。实际上铁心中通过的磁通，在定子铁心槽的侧面是旋转磁通，而在其外圈是交变磁通，如图3-1所示。图3-1（a）是槽底呈直角的磁通分布情形，图3-1（b）是槽底呈弧状的磁通分布情形。两者比较，可以清楚地看出所示槽底磁通的分布是比较圆滑、均匀。把硅钢片原材料用交变磁通进行测试的数值作为1.0，然后再把旋转磁场中测试的铁耗值与计算值相比较，如表3-1所示。

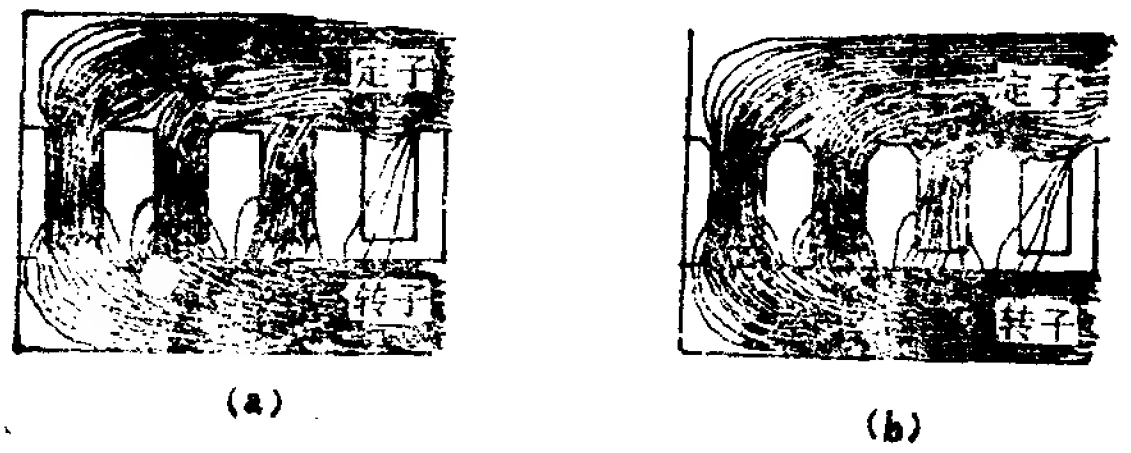


图3-1　磁通在铁心中分布情形

表3-1　铁耗比较

项目		铁耗比例	
		槽底呈直角形状	槽底呈弧状
测试值	交变磁通	1.00	1.00
	旋转磁通	1.14	1.10
计算值	旋转磁通	1.10	1.14

从上面分析看出，欲提高电动机效率，正确计算铁耗和使槽的形状达到最优是非常重要的。

对于高压电动机和比较大型的电动机来说，历来是采用开口

槽，因为这种槽形，便于下线。但是由于开口槽使铁心导磁面积减少，不但造成励磁电流增加，功率因数降低，同时由于磁通分布不均而使转子表面损耗显著增加。为了尽量减少这种现象，可采用铁粉和树脂合成的磁性槽楔，如国产MC3、D416等型号磁楔，它能够使磁通分布趋于均匀，从而降低表面损耗，其实例如表3-2所示。

表3-2　不同槽楔的特性区别

项目	110kW、2极		110kW、8极	
	普通楔	磁性楔	普通楔	磁性楔
效率(%)	93.8	94.0	93.4	94.7
功率因数	0.878	0.890	0.757	0.772

通常，加长定、转子之间的气隙长度，可使励磁电流增加，但却由于磁通分布趋于均匀而使表面损耗降低，其变化趋势如图3-2所示。从此图可以看出，根据励磁电流产生的铜损耗与涡流产生的表面损耗之比值的大小，能够找到使效率最高的理想气隙长度。

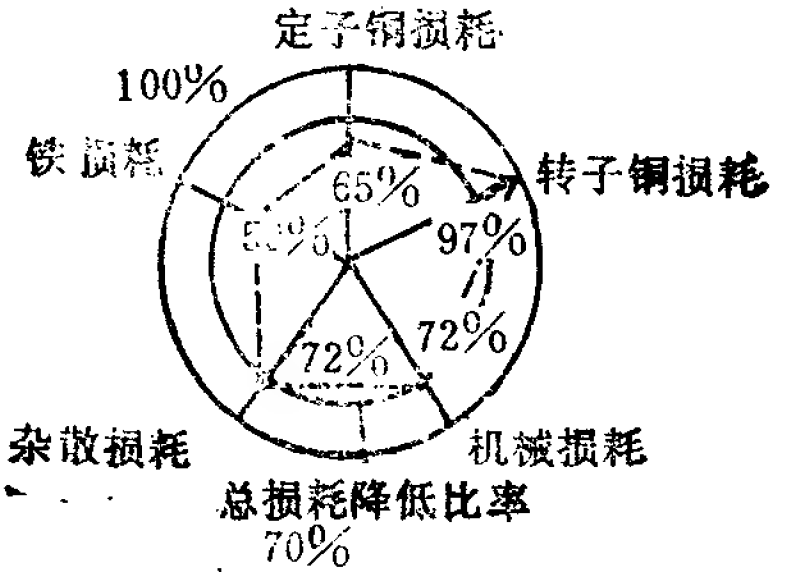


图3-2　电动机各种损耗降低率

其次，由于励磁电流减少使定子电流降低，为了简化分析，一般定子铜耗 P'_{Cu1} 为：

$$P'_{Cu1}=P_{Cu1}\frac{r_1'}{r_1}=P_{Cu1}\left(\frac{d}{d'}\right)^2\frac{W_1'}{W_1}K_e$$

上面是对铁耗和定子铜耗的简易计算，至于转子铜耗也可用同样方法计算。

（2）选用优质材料。修理铁心时，选用优质硅钢片能够降低铁心损耗，对于小容量电动机来说，由于励磁电流占额定电流的比例较大，所以还有降低定子铜损耗的明显效果。

① 比如选用D31或D41代替原来的D11或D21硅钢片做铁心材料，可以降低铁心损耗。

② 涡流损耗与硅钢片厚度的平方成正比，所以减少硅钢片厚度也能够降低铁耗。

③ 由于增加铁心厚度，可以相应地减少槽内导体根数，因此有条件使导线截面积增大，从而同时降低铁耗和铜耗。

（3）改进修理工艺。在提高电动机效率措施上，各修理单位均有自己的技术技巧和措施，下面介绍总的措施。

① 缩短线圈的端部长度。缩短线圈端部，可以减小线圈电阻和漏电抗，从而能改善电动机的特性。为此，需要提高线圈的嵌线技术，从而能够尽可能地缩短线圈的端部长度。

② 提高加工和组装的精度。零部件的加工精度和电动机组装的精度是否良好，对电动机的特性有很大的影响。特别是定、转子之间的气隙的均匀度，对于励磁电流和涡流损耗的影响是很大的。因此，要求组装精度较高。

③ 其他方面，如对电工硅钢片退火处理，可以降低铁损耗；转子槽内进行绝缘处理，可以降低涡流损耗等等。这些措施都是必要的。

〔3-3〕 电动机挖潜改造到什么程度算是达到高效率电动机了？

答： 电动机效率的高低与电动机的容量、极数和结构型式有关，很难找出一条效率高低的分界线，根据国外文献来看，大概凡属总损耗比以前降低20%以上（不管是新制造的还是挖潜改装的）且功率因数不低于原来水平者，即可称为高效率电动机。若总损耗降低40%～50%时，即可称为特高效率电动机(国外称为第

三代高效率电动机)。

当电动机总损耗降低20%时，新的效率值为

$$\eta' = \frac{1}{0.2+0.8\frac{1}{\eta}} \times 100\%$$

式中 η——电动机原有效率

η'——损耗降低20%后电动机的新效率

例如原电动机效率为75%，通过一些改进措施，把电动机总损耗降低20%，则由上面公式得出新的效率为：

$$\eta' = \frac{1}{0.2+0.8\frac{1}{75\%}} \times 100\% = 78.9\%$$

也就是说，如果将效率由75%提高到78.9%，这台电动机就达到高效率电动机水平了。

目前，电机制造厂为制造高效率电动机（如YX系列），已将降低损耗的各种措施综合地开发和应用。图3-2表示电动机中各种损耗降低率的示例。图中，转子铜耗P_{Cu2}降低率较少，这是因为异步电动机具有恒转速特性，在输出功率一定的条件下，转子铜耗大致由转差率S决定。就是说，不能使转差率S大幅度地降低。由下式看出，S基本不变，而P_m取决于输出功率也基本不变

$$P_{Cu2} = SP_m$$

式中 P_m——转子输入功率

所以P_{Cu2}变化较少

对于高效率电动机，当它的机座尺寸与普通电动机相同，采用了各种降低损耗措施后，可使总损耗降低30%左右，从而其效率可提高3%～6%，特别是轻负载时的效率将显著提高。因此，高效率电动机可在不同负载率时均可达到节电的目的。这是因为高效率电动机的铁耗和由励磁电流产生的定子铜耗，以及机械损耗降低了，从而改善了轻载时的效率。

〔3-4〕 重绕空载电流大的电动机时，怎样计算合适的线圈匝数？

答：造成电动机空载电流大的原因有：

（1）气隙增大。这是由于转子长期在含有一定杂质的通风空气中旋转，遭受空气中杂质、粉尘的磨损而使气隙增大，如运行在冶金企业中的开启式电动机，运转10年以上，气隙增大15%左右。再有修理电动机时，因为电动机扫膛或铁心偏心经过车削转子，使气隙增大。

（2）铁心损耗增大。这是由以下几种常见的原因所造成。

① 修理时曾因槽口不齐影响嵌线而用粗锉锉大槽口，使槽口冲片短路，槽口尺寸增大，使电动机有效气隙增加。

② 铁心长期处于潮湿环境被腐蚀、生锈。

③ 电动机拆绕组时曾用明火烧铁心或用火碱水煮铁心等不正确的办法，使铁心冲片绝缘被腐蚀，冲片之间短路。

④ 转子铁心与定子铁心未对齐，或者转子铁心装反。

⑤ 铁心有严重扇张现象等。

（3）绕组匝数绕少或线圈跨距小。由于线圈匝数绕少使磁通密度增加，而铁损耗与磁通密度平方成正比，导致铁耗大幅度增加。线圈跨距小，使绕组的短距系数降低，电动机有效匝数降低，其效果也是导致铁耗增加，空载电流上升。

（4）绕组接线接错。如1丫接法误接成1△接法，1路误接成2路等。1丫接法误接成1△接法，绕组匝数降低$\sqrt{3}$倍；1误接成2路，绕组匝数降低50%，导致空载电流大大增加。

（5）电动机转子安装不正使气隙不均，或转轴弯曲、轴承故障等，均会使空载电流增大。

由于空载电流增大，使电动机功率因数降低。当保持电动机额定电压U_N和额定电流I_N不变时，则电动机的输出功率因功率因数降低而降低。如果电动机是在额定负载下运行，那么电动机会因电流过大而发热。在实际使用当中，为了使用电动机，被迫降低负载使用。

为了解决空载电流大的问题，在重绕线圈时，可以调整线圈匝数（也就是增加有效匝数）来解决。调整后的线圈匝数按下面公式计算。

$$W_1' = 0.95 \frac{K_{dp1}}{K'_{dp1}} \sqrt{\frac{I_0}{I'_0}} W_1$$

如果绕组型式保持不变，即$K_{dp1} = K'_{dp1}$，则上式化简为：

$$W_1' = 0.95 \sqrt{\frac{I_0}{I'_0}} W_1$$

增加匝数后的空载电流为：

$$I'_0 = 0.91 \left(\frac{W_1}{W_1'} \right)^2 I_0$$

式中 W_1'、W_1——电动机重绕后和重绕前的每相绕组匝数，或者绕组型式不变时，则为每线圈匝数

K'_{dp1}、K_{dp1}——表示重绕后和重绕前的绕组系数

I'_0、I_0——重绕后和重绕前的空载电流（A）

0.95和0.91——电动机饱和系数比的平均值

例：有一台JO2-52-4型三相异步电动机，10kW，U_N=380V，I_N=19.7A，单层交叉式绕组，导线2-ϕ1.12mm，每线圈29匝，△接法，测量出空载电流I_0为8.5A，查电动机修理手册I_0的正常值为6A，希望通过重绕恢复正常的空载电流值，不改变绕组型式，问重绕的线圈匝数应是多少？

解：空载电流增加百分数

$$\Delta I_0 = \frac{I_0 - I'_0}{I'_0} \times 100\% = \frac{8.5 - 6}{6} \times 100\% = 41\%$$

重绕的线圈匝数

$$W_1' = 0.95 \sqrt{\frac{I_0}{I'_0}} W_1 = 0.95 \sqrt{\frac{8.5}{6}} \times 29 = 32.79 \text{ 取33匝}$$

增加到33匝后的实际空载电流：

$$I_{0实} = 0.91 \left(\frac{W_1}{W_1'} \right)^2 I_0 = 0.91 \left(\frac{29}{33} \right)^2 \times 8.5$$

$$= 5.97 \text{（A）}$$

可见恢复了原来的空载电流数值。

这时线圈匝数增加的百分数：

$$\Delta W=\frac{W'-W}{W}\times 100\%=\frac{33-29}{29}+100\%=13.8\%$$

由于增加4匝导线，所以要考虑槽满率问题，但不可改用细线。

〔3-5〕 重绕线圈时，怎样提高绕组有效匝数来降低空载电流？

答： 绕组有效匝数是指实际匝数W乘上绕组系数K_{dp1}，比如实际上每线圈100匝，并不一定起到100匝的电磁效应，还和绕组型式、线圈分布以及线圈跨距大小等有关，所以，要打上一个折扣，这个折扣小于1，一般在0.97～0.95附近，如果绕组系数是0.97，则100匝线圈起97匝的效果，如果绕组系数是0.95，则100匝线圈起到95匝的效果，因此希望绕组系数为1才理想，但这是达不到的。

考虑绕组系数的变化，计算重绕匝数时按下面公式计算。

$$W_1'=0.95\frac{K_{dp1}}{K'_{dp1}}\sqrt{\frac{I_0}{I_0'}}W_1$$

应使绕组系数$K'_{dp1}>K_{dp1}$，则可使绕组匝数少增加些，这样可比单纯增加匝数来降低空载电流为好。

电动机定子绕组系数$K_{dp1}=K_{d1}K_{p1}$

式中 K_{d1}——定子绕组分布系数

K_{p1}——定子绕组短距系数

对于通常60°相带的绕组：

$$K_{d1}=\frac{0.5}{q\sin\frac{\alpha}{2}}$$

式中 q——每极每相槽数，也就是绕组的每极相组中的线圈数，

$$q=\frac{Z_1}{2pm_1}$$

Z_1——定子槽数

$2p$——电动机极数

m_1——定子相数

α——槽距角，$\alpha=\dfrac{60^\circ}{q}$

上式可写作：

$$K_{d1}=\frac{0.5}{q\sin\dfrac{\alpha}{2}}=\frac{0.5}{\dfrac{Z_1}{2pm_1}\sin\dfrac{60^\circ}{2q}}$$

当$2p$、m_1，Z_1不变时，则K_{d1}为q的函数，即$K_{d1}=f(q)$，可见K'_{d1}只与线圈分布方式有关，所以叫分布系数，在修理电动机时，如果不改变电动机$2p$、m_1时，这个系数是不变的。那么要想提高绕组系数，只有提高绕组的短距系数K_{p1}了。

$$K_{p1}=\sin\beta 90^\circ$$

式中 β——节距比，$\beta=\dfrac{y}{\tau}$

y——线圈节距，也叫跨距，比如，线圈二个边的一边嵌入1槽，另一边嵌入8槽，即1—8，则$y=7$

τ——极距，$\tau=\dfrac{Z_1}{2p}$也就是每极槽数，即极距是用槽数做单位的。也有用cm或mm做单位的，如$\tau=\dfrac{\pi D_{i1}}{2p}$(cm)，$D_{i1}$为定子内径（mm）。

从上式看出，当$2p$、Z_1不变时，K_{p1}是线圈节距y的函数，即$K_{p1}=\sin\beta 90^\circ=\sin\dfrac{y}{\tau}90^\circ=f(y)$，只要改变节距$y$就可改变$K_{p1}$。双层绕组的线圈节距选择，由于考虑减少高次谐波的原因，一般选短节距（$y=0.83\tau$），所以绕组短距系数较整节距为低（整节距$K_{p1}=1$）。由此可以看出，如果把短节距的双层绕组改为整节距的单层绕组或双层绕组，就可以提高绕组系数K_{dp1}，从而提高电动机有效匝数。

例：有一台JO2-72-6型三相异步电动机，22kW、6极，已知$U_N=380$V，$I_N=43.2$A，2△接线，双层叠绕组，每槽线数

28，导线2-ϕ1.20，槽满率75.6%，$Z_1=54$，线圈节距 $y=1\sim9$ 槽，实测空载电流为17.5A，正常空载电流应15.5A左右，要求重绕时恢复正常的空载电流值。

解： 空载电流增加的百分数 $\Delta I_0=\dfrac{I_0'-I_0}{I_0}\times100\%=$

$\dfrac{17.5-15.5}{15.5}\times100\%=12.9\%$。由于槽满率已达75.6%，提高槽满率来增加线圈匝数可能性不大，所以还要考虑增加短距系数 K_{p1}，使两者增匝因素同时起作用来满足降低空载电流的需要。

每极每相槽数 $q=\dfrac{Z_1}{2pm_1}=\dfrac{54}{6\times3}=3$，由于 $q=3$，可选用单层交叉链式绕组，线圈跨距可选用 $y_1=8$（2个），$y_2=9$（1个），每样使双层叠绕组改单层绕组后短距系数上升到1。

极距 $\tau=\dfrac{Z_1}{2p}=\dfrac{54}{6}=9$

原绕组 $y=8$，所以节距比 $\beta=\dfrac{y}{\tau}=\dfrac{8}{9}$

双层绕组时短距系数

$$K_{p1}=\sin(90^\circ\beta)=\sin 90^\circ\frac{8}{9}=0.98$$

而改单层绕组时 $K_{p1}'=1$。注意，虽然这时线圈跨距有两个是 $y_1=8$，不是9，但这是工艺短节距，电磁效果跟全节距一样，所以，$K_{p1}'=1$。

槽距角 $\alpha=\dfrac{60^\circ}{q}=\dfrac{60^\circ}{3}=20^\circ$

分布系数 $K_{d1}=K_{d1}'=\dfrac{0.5}{q\sin\dfrac{\alpha}{2}}=\dfrac{0.5}{3\sin\dfrac{20^\circ}{2}}=0.96$

因此，双层叠绕组时的绕组系数 $K_{dp1}=K_{d1}K_{p1}=0.96\times0.98=0.94$。

改单层交叉链式绕组后的绕组系数 $K_{dp1}'=K_{d1}'K_{p1}'=1\times$

$0.96=0.96$

这时有效匝数增大的百分数 $\Delta K_{dp1}W_1$ 为：

$$\Delta K_{dp1}W_1=\frac{K'_{dp}W_1-K_{dp}W_1}{K_{dp}W_1}\times 100\%$$

$$=\frac{K'_{dp}-K_{dp}}{K_{dp}}\times 100\%$$

$$=\frac{1-0.94}{0.94}\times 100\%$$

$$=6.38\%$$

从表3-3中可以看出，对于 $\Delta K_{dp1}W_1$ 为6.38%时，是能够解决空载电流增大的百分数 ΔI_0 为 20%的，目前 ΔI_0 为 12.9%＜20%，所以只改变绕组型式，增大有效匝数就可以解决了。

表3-3　定子每相绕组有效匝数与空载电流变化的关系表

定子每相有效匝数的百分数 $\pm\Delta K_{dp1}W_1$(%)	5	10	20
空载电流变化的百分数 $\pm\Delta I_0$(%)	10～20	20～30	30～50

〔3-6〕　请介绍现场处理空载电流大的实例。

答：

例1：一台国外三相笼型电动机，额定电压220V/380V，额定电流0.4A/0.23A，30W，型号D，4极，1400r/min。电动机修理后空载试车，空载电流过大达0.6A。找原因，拆开电动机，才发现转子装反，因两端端盖尺寸一样，所以装反，使定、转子铁心错开20mm（铁心长60mm），重新装配，使定、转子铁心对齐，则空载电流正常。

例2：一台J62-4型三相异步电动机，14kW，1960年5月萧山电机厂出品，定子铁心长114mm，转子铁心长100mm，空载加入额定电压380V，空载电流达25A（额定电流27.4A），显然过大。

为此查同类型电机样本，上海电焊机出品的电动机，转子铁

心长110mm，龙江电机厂出品的电动机转子铁心长115mm。拆除绕组检查数据完全正确，因此判定空载电流大是由于定、转子铁心长度不等造成，或者说转子铁心短造成的。

在现场找到一台AO62-4型，14kW的电动机，定子已报废，利用其转子，车削转子外径（去掉2mm），锯下较长的风扇叶，每边锯去10mm，这台电动机转子铁心长130mm，换上后，电动机空载电流合格。

例3：JO2-12-6型0.6kW三相异步电动机，定子槽数27，额定电压380V，额定电流1.97A，空载试验时测出空载电流达2.3A超过额定电流。为此拆开电动机检查绕组接线，发现是按双层庶极接线方法，绕组系数很低。后来计算每极每相槽数 $q=\frac{27}{3\times 6}=1\frac{1}{2}$，将三相绕组按下面分配线圈。

U相：1、2、1、2、1、2

V相：2、1、2、1、2、1

W相：1、2、1、2、1、2

将绕组按此分数槽规律改接后，再试空载电流为1.2A，合格。

例4：JZRB2-42-8型三相异步电动机。铭牌数据：16kW，定子电压380V，转子电压190V，定子电流44A，转子电流46.5A，负载持续率25%，B级。空载试验时，定子施加380V电压，测出定子空载电流50A，转子电压248V，显然空载电流过大。为此解体电动机，进行检查和记录。

铁心数据：铁心外径280mm，内径245mm，铁心长度270mm，定、转子槽数54/48。

绕组数据：定子导线2-1.35mm，每线圈8匝，双叠绕组，2丫接线，线圈跨距1—8；转子绕组导线3-1.35mm，单链，每槽13匝，2丫接线。

从空载试验分析，空载电流大是由于定子绕组匝数少所致。

查手册，对于JZR2-42-8型，16kW电动机，空载电流应27.5A左右，转子电压223.5V，定子槽数72或60，看来是非标准设计。

分析：定子接线如果改接1△接法，做空载试验看效果如何。按初步计算2丫接法改为1△接法，每相绕组匝数应增为：

$$(1)\frac{1}{\sqrt{3}}\times 2\times\frac{54}{3}\times 8=167\ (匝)$$

原2丫接法时为$\frac{54}{3}\times 8=144$（匝）

所以每相绕组增加23匝，即增加15.9%

(2)改1△接法后空载电流应降为：

$$I_{0\Delta}=I_{2Y}\left(\frac{144}{167}\right)^2=50\left(\frac{144}{167}\right)^2=37.2\ (A)$$

(3)2丫接法改1△接法后电动机功率估算：

$$P_{1\Delta}=\frac{\sqrt{3}(I_\varphi/2)}{I_\varphi}P_{2Y}=\frac{\sqrt{3}(44/2)}{44}\times 16=14\ (kW)$$

(4)转子电压变为：

$$U_2'=\frac{144}{167}\times U_2=\frac{144}{167}\times 248=214\ (V)$$

与手册对照是可以用的。

通过以上分析，此台电动机定子绕组从2丫改1△后试空载电压U_2为220V，I_0为39A，因此投入使用，一直正常。

例5：JO2-41-4型三相异步电动机、4kW，空载电流实测为0.94A，正常空载电流应3.5A，经检查，原来将△接法误接成丫接法，改正后，空载电流为3.4A，合格。

例6：一台370W三相异步电动机，额定电流1.12A，4极，每线圈137匝，修理后，空载电流为1.35A，超过额定电流，原因是重绕时线圈匝数减少了。正常空载电流应在0.9A左右。

$$W_1'=W_1\sqrt{\frac{I_0}{I_{0额}}}=137\sqrt{\frac{1.35}{0.9}}=168\ (匝)$$

由于槽内限制，加到153匝不能再加，这时空载电流降至0.88A。

〔3-7〕 怎样合理地提高槽满率来增加线圈匝数降低空载电流？

答： 槽满率表示圆导线嵌入槽内的拥挤程度，一般设计在75%左右。槽满率太低表示槽的利用不好，有时在修理电动机更换导线时有可能造成槽满率降低，比如双玻璃丝圆铜线改为高强度漆包圆铜线时，就会造成槽满率大大降低，嵌线时增加竹楔厚度来固定线圈；反之，当槽满率太大时，超过80%，嵌线非常困难，有可能挤破导线绝缘，造成匝间短路。在修理当中，有时碰到制造厂出品的老电动机槽满率不高，比如60%～65%，可以适当提高来增加线圈匝数，达到降低空载电流的目的。

一般槽满率是用下面公式表示。

$$S_f=\frac{NZ_{sc}d^2}{S_e}$$

式中 N——并绕根数

Z_{sc}——槽内总导体数

d——电磁线外径（mm）

S_e——槽有效面积（mm）

槽有效面积：

$$S_e=F-S_{楔}-S_i=S_s-S_i$$

式中 F——空槽面积（mm^2）

$S_{楔}$——槽楔面积（mm^2）

S_i——槽绝缘所占面积（mm^2）

S_s——净槽面积，$S_s=F-S_{楔}$（mm^2）

现设绕组并绕根数N不变，电磁线外径d不变，槽绝缘和槽楔面积不变，只是提高槽满率，将槽内总导体数由Z_{sc}增到Z'_{sc}，这时槽满率由S_f增为S'_f，于是有：$S'_f=\frac{NZ'_{sc}d^2}{S_e}$，可见槽满率与$Z_{sc}$成正比。如果已知原$S_f=60\%$，使$S'_f$提高到75%，那么允许槽内总导体数增为：$Z'_{sc}=\frac{S'_f}{S_f}Z_{sc}=\frac{75\%}{60\%}Z_{sc}=1.25Z_{sc}$。

总导体数增加的百分数：

$$\Delta Z_{sa}=\frac{\frac{S'_f}{S_f}Z_{sa}-Z_{sa}}{Z_{sa}}\times 100\%=\frac{S'_f-S_f}{S_f}\times 100\%$$

$$=\frac{0.75-0.60}{0.60}\times 100\%=25\%$$

例：JO2-52-6，7.5kW三相异步电动机，已知$U_N=380$V，$I_N=15.77$A，6极，△接法，每槽导体数37，单层链式，导线1-ϕ1.4mm，$S_f=68.1\%$，现在将S_f提升到75%，解决空载电流7.8A偏大的问题（正常值6.7A），问提高S_f后，每槽导体数能增到多少？

解：增加的导体数为：

$$Z'_{sa}=\frac{S'_f}{S_f}Z_{sa}=\frac{75\%}{68.1\%}\times 37$$

$$=40.7\text{（匝）}，\text{取40匝}$$

导体数增加的百分数：

$$\Delta Z_{sa}=\frac{S'_f-S_f}{S_f}\times 100\%=\frac{75-68.1}{68.1}\times 100\%=10.1\%$$

空载电流增加百分数：

$$\Delta I_0=\frac{7.8-6.7}{6.7}\times 100\%=16.4\%$$

从表3-3看出，匝数增加的百分数(10.1%)是可以降低16.4%的空载电流的，也就是说只要把槽满率调整到75%，空载电流就可以降到允许范围内。这时空载电流实际降为$I_0'=0.91\left(\frac{Z_{sa}}{Z'_{sa}}\right)^2 I_0$

$$=0.91\left(\frac{37}{40}\right)^2\times 7.8=6.07\text{（A），满足要求。}$$

〔3-8〕 怎样合理选择槽绝缘厚度来增加槽内线圈匝数？

答：从槽满率公式$S_f=\frac{NZ_{sa}d^2}{S_e}$看出，如果保持槽满率不变，即$S'_f=S_f$，且使$N$、$d$不改变，则每槽导体数或每线圈匝数将与

槽有效面积S_e成反比。即$Z'_{sc}=\frac{S'_e}{S_e}Z_{sc}$

又知 $S_e=F-S_{槽}-S_i$，空槽面积下是常数，适当减薄绝缘可降低S_i，同时采用MDB软槽楔厚0.3～0.8mm，代替3～4mm的竹楔，可使$S'_e>S_e$，因此，可使$Z'_{sc}>Z_{sc}$，达到增匝数的可能。

另外，减薄槽内绝缘厚度的措施有：

（1）双玻璃丝包导线改用高强度漆包导线。

（2）槽绝缘采用DMD复合绝缘代替漆布或云母纸绝缘（B级）。

（3）双层叠绕组改单层绕组，可省去层间绝缘。

（4）竹楔改用MDB软槽楔，等等。

例：JZ51-4三相异步电动机，4.5kW，原槽绝缘为两层青壳纸夹一层黄腊布，总厚0.6mm，改用0.25mm厚的DMD复合绝缘。楔厚3.5mm改用MDB软槽楔，厚0.30mm，导线1.35mm，单根绕，并联路数为1，$Z_1=36$槽，线圈匝数36匝，问导线规格不变情况下，线圈匝数可能增到多少？

解：已知$S_{槽}$为14mm²、$S'_{槽}$为1.2mm²，S_i为21mm²，S_i'为6.28mm²，空槽面积F为109mm²，则

$$S_e=109-21-14=74\ (\text{mm}^2)$$

$$S'_e=109-6.28-1.2=101.52\ (\text{mm}^2)$$

则 $$Z'_{sc}=\frac{S'_e}{S_e}\times Z_{sc}=\frac{101.52}{74}\times 36=49\ (\text{匝})$$

匝数增加的百分数：

$$\Delta W=\frac{Z'_{sc}-Z_{sc}}{Z_{sc}}\times 100\%=\frac{49-36}{36}\times 100\%=36\%$$

即线圈匝数允许增加13匝。

采用此措施时要注意：

（1）不可削弱绝缘强度来减薄绝缘厚度，比如将竹楔削薄、槽绝缘纸规格未变，只是在原有材质减薄等，是不允许的。

（2）不可降低绝缘等级。

（3）槽满率不可大于80%。

（4）表3-4给出新、老电动机槽绝缘厚度比较表，表3-5给出导线绝缘厚度（双面厚度）比较表供计算时参考。

表3-4　新、老系列电动机槽绝缘厚度的比较表　（mm）

机座号	1～2号	3～5号	6～9号
老系列电动机A级绝缘	两层0.17青壳纸中间夹一层0.2厚黄蜡布或云母纸，总厚度0.54	两层0.2厚青壳纸，中间夹一层0.2厚黄蜡布或云母纸，总厚0.6	同左，总厚0.6
新系列电动机E级绝缘	一层聚酯薄膜复合绝缘，总厚度0.22	一层聚酯薄膜复合绝缘，总厚度0.27	一层聚酯薄膜复合绝缘，0.27厚加上一层玻璃漆布，总厚度0.42
新系列电动机B级绝缘	采用DMD或DMDM复合绝缘纸，总厚度在0.22～0.25之间	同左 总厚度0.3	同左 总厚度0.35

表3-5　导线绝缘厚度（双面厚度）比较表　（mm）

导线规格 \ 导线直径	直径1mm以下	直径1mm以上
双纱包或双玻璃丝包圆铜线	0.25	0.27～0.28
单纱漆包圆铜线	0.19～0.21	0.22～0.28
聚酯高强度漆包圆铜线	0.05～0.06	0.08～0.09

〔3-9〕 怎样通过空载调压试探法来确定绕组合理的重绕匝数？

答： 在修理电动机过程中常碰到以下情况。

（1）重绕的电动机在未浸漆之前，做半成品空载试验时发现空载电流不符合规定，不是过大就是过小。

（2）检修的电动机做空载试验时，发现空载电流不正常，也

存在过大、过小问题。

为了满足空载电流达到正常值，可以拆除绕组后重新按所需的空载电流大小进行计算，但由于通常修理单位都是采用简易的计算方法，计算结果不一定精确，甚至有时为了达到正常的空载电流要反复重绕几次，所以不如采取本文所介绍的空载调压试探法来确定合理重绕匝数更方便更可靠些。

一般都是空载电流 I_0 值偏大，这时可将调压器接到电动机上，使电压从额定电压 U_N 往下调，每调一点记录一个电压值和相应的电流值，记在表格内；反之，如果 I_0 比正常值偏小，需将电压向上调，也同时记录电压、电流值，填在表格内。现在以 I_0 过大，要降低试验电压为例，其记录表格如表3-6所示。

表3-6　降压空载试验数据

空载试验电压 U_0(V)	U_{01}	U_{02}	U_{03}	U_{04}	U_{05}	U_{06}	U_{07}
空载电流 I_0(A)	I_{01}	I_{02}	I_{03}	I_{04}	I_{05}	I_{06}	I_{07}
U_0I_0(W)	$U_{01}I_{01}$	$U_{02}I_{02}$	$U_{03}I_{03}$	$U_{04}I_{04}$	$U_{05}I_{05}$	$U_{06}I_{06}$	$U_{07}I_{07}$

表3-6中的 $U_{01}=U_N$，然后降低电压，即 $U_{01}>U_{02}>U_{03}>U_{04}$……而 $I_{01}>I_{02}>I_{03}>I_{04}$……。

根据电动机铭牌的型号、电压、电流、极数等等可以查到正常的 $I_{0正}$ 值是多少，将 $I_{0正}U_N$ 可得出某一值，然后以此值在表3-6中查出接近相等的数值，以此值为基准进行计算。比如：

$I_{0正}U_N=U_{03}I_{03}$，则按此 U_{03} 代入下式进行计算。

$$W_1'=\frac{U_N}{U_{03}}W_1$$

式中　W_1——电动机原有的线圈匝数

W_1'——重绕时所需的匝数

然后按 W' 重绕电动机绕组，重绕后的 I_0 按下式计算。

$$I_0'=\frac{W_1}{W_1'}I_{03}$$

例：有一台JO2-62-4型三相异步电动机，17kW，U_N=380V，2△接线，双叠绕组，每槽线数为39匝，I_0为14A，偏大，查手册：$I_{0正}$应10A。要求用空载调压法试验，求出重绕合理匝数。

试验数据如表3-7所示。

表3-7　试验数据表

U_0(V)	$U_{01}=380$	$U_{02}=370$	$U_{03}=360$	$U_{04}=355$	$U_{05}=350$
I_0(A)	14	12	11.5	10.8	10.5
U_0I_0(W)	5320	4440	4140	3834	3675

查电动机产品目录$I_{0正}$应为10A，所以：

$I_{0正}U_N=10\times380=3800$（W），以此值查表3-7对应的有$I_{04}U_{04}=3834$（W），现在计算合适的$U_{04}$，即$U'_{04}=\dfrac{I_{0正}U_N}{I_{04}}=\dfrac{3800}{10.8}=352$（V），可见352V是符合要求的电压。

计算重绕时合理匝数：

$$W_1'=\frac{U_N}{U'_{04}}W_1=\frac{380}{352}\times39=42.1\text{（匝），取42匝}$$

改W'后的空载电流：

$$I_0'=\frac{W_1}{W_1'}I_{04}=\frac{39}{42}\times10.8=10.03\text{（A）}$$

〔3-10〕　电动机绕组匝数增加或减少对电动机性能有什么影响？

答：电动机每相绕组匝数（确切的说是有效匝数）比制造厂计算的匝数增加时，电动机相当于在欠电压下运行。因为电源电压与绕组匝数近于成正比关系，由于每匝电压减少了，所以电动机处于欠电压运行。如果电动机正处于额定负载下运行，那么电动机转速要降低，转差率增大，使转子电流增加，转子铜耗增大。

转子电流增加又反映定子电流增加，所以电动机绕组铜耗增大而发热。另外，因电压降低，磁通密度与电压成正比，磁通密度得到降低，铁耗与磁通密度平方成正比，所以，铁损耗会降低。但铁耗的降低不能弥补铜耗的增加，所以电动机温升要增高。

由于绕组匝数的增多，电动机漏电抗与匝数平方成正比，所以漏电抗增加，而漏电抗的平方与电动机堵转转矩成反比、漏电抗与电动机最大转矩一次方成反比，所以电动机起动性能变坏，电动机过载能力变差，但堵转电流与漏电抗成反比，所以堵转电流降低。

再有由于绕组匝数增加，定子铜耗增加。

当电源电压、频率和绕组型式不变条件下，当绕组匝数增多时，从下式看出$U \propto fWK_{dp}BS_{Fe}$，磁通密度 B 要下降。

式中 U——电源电压（V）

f——电源频率（Hz）

W——每相绕组匝数

K_{dp1}——绕组系数

S_{Fe}——铁心截面积（cm^2）

B——磁通密度（T）

由于 B 下降，励磁功率降低，所以空载电流降低，从而功率因数 $\cos\phi$ 提高。

从以上分析看出，如果电动机处于轻载运行时，适当增加些匝数是有利的。

当电动机绕组匝数减少时，正好与上面分析相反，电动机相当于过载运行。在这种情况下，对于轻载运行的电动机非常不利。

这时铁耗因磁通密度增加而增大，I_0 增加，$\cos\phi$ 降低，堵转电流增加。有利方面是堵转转矩和最大转矩提高，定子铜耗降低，转差率下降等等。

〔3-11〕 电动机铁心长度与正常值不符时如何通过重绕线圈来解决？

答： 在修理电动机过程中，往往会碰到电动机铁心与标准样

本所给的电动机铁心长度不符的问题，当铁心比标准产品短时，会造成空载电流大，铁心损耗增加。修理单位想增加铁心长度是困难的，比较方便的办法就是在重绕时调整线圈的匝数。由于匝数变化，使磁通密度改变，从而改变电动机的铁耗、空载电流、功率因数，以及电动机温升等问题。在修理当中碰到铁心短的机会是非常多的。下面介绍重绕时确定线圈匝数的办法。

当铁心比正常的短时，应增加匝数，可按下式计算。

$$W_1' = 1.06\sqrt{\frac{l_{Fe}}{l_{Fe}'}}W_1$$

当铁心比正常的长时，应减少匝数，可按下式计算。

$$W_1' = 0.95\sqrt{\frac{l_{Fe}}{l_{Fe}'}}W_1$$

式中 l_{Fe}、l_{Fe}'——分别表示样本标准的铁心长度和电动机实测长度（mm）；

W_1、W_1'——分别表示原线圈匝数和重绕匝数（如果绕组型式也改变，这里可代表每相绕组匝数）。

注意，测量铁心长度时要用钢板尺或卷尺在槽底处测量，不可在铁心外表面处测量，因为有扇张现象影响，测不准，同时要求在圆周上测几点取平均值。

例：有一台 JO73-2 型三相异步电动机，28kW，2 极，铁心长实测为170mm，查样本为180mm，短 10mm，线圈匝数 9，空载电流较正常同类电动机偏高，想采取重绕增匝数办法解决，问重绕时线圈匝数应是多少？这时空载电流下降百分数应是多少？

解：$W_1' = 1.06\sqrt{\frac{l_{Fe}}{l_{Fe}'}}W_1 = 1.06\sqrt{\frac{180}{170}} \times 9$

$= 9.7$（匝）取10匝

这时空载电流下降百分数：

$$\Delta I_0' = \frac{I_0 - 0.91\left(\frac{W_1}{W_1'}\right)^2 I_0}{I_0} \times 100\% = 26.7\% I_0$$

〔3-12〕 电动机气隙磨损过大时，如何通过重绕计算来解决？

答： 电动机长期运转，使定、转子铁心表面与空气之间发生摩擦会造成自然磨损，另外，处理电动机故障时曾车削过转子表面也会引起气隙增大。比如电动机扫膛或转轴稍弯曲，以及轴承磨损间隙过大，临时处理时是将转子外表面车削一层，这样，就造成电动机励磁功率增加，空载电流过大，解决办法是在重新绕线圈时适当增加匝数，应增加多少匝？可由下面公式计算。

假设电动机铁心长度正常，绕组型式在重绕时保持不变，只是气隙δ'比正常值δ大些，这时按下面公式计算新绕组匝数：

$$W_1' = 0.95\sqrt{\frac{\delta'}{\delta} \times \frac{I_0'}{I_0}} W_1$$

式中 δ'、δ——分别表示实测的增大气隙和正常气隙（mm）

I_0'、I_0——分别表示增加的空载电流和正常的空载电流(A)

W_1——原线圈匝数

例： J2-72-4，30kW三相异步电动机，测量气隙长度δ'=0.6mm，(应0.5mm)，空载电流I_0'为26A，正常的空载电流I_0为22.6A，已知每线圈匝数W_1为37匝，求重绕的线圈匝数绕多少合适？

解：

$$W_1' = 0.95\sqrt{\frac{\delta'}{\delta} \times \frac{I_0'}{I_0}} W_1$$

$$= 0.95\sqrt{\frac{0.6}{0.5} \times \frac{26}{22.6}} \times 37 = 41 \text{（匝）}$$

即新线圈匝数为41匝，增加 4 匝合适。

〔3-13〕 如果某电动机的空载电流I_0、气隙长度δ和铁心长度l_{Fe}均不符合产品样本要求，电动机因空载电流过大而发热，问如何通过重绕计算来解决？

答： 通常是需要增加线圈匝数降低空载电流，可按下式计算。

$$W_1' = 0.95\sqrt{\frac{\delta'}{\delta} \quad \frac{I_0}{I_0'} \quad \frac{l_{Fe}}{l_{Fe}'}} W_1$$

例：有一台 JZ2-42-8型三相异步电动机，16kW，U_N=380 V，I_N=39.3A，实测空载电流I_0为 29A（应 23A 左右），气隙

长度 $\delta'=0.6$mm（正常应为0.5mm），铁心长度$l_{Fe}=260$mm（正常应270mm），短 10mm。已知每槽线数为18，双叠绕组，槽满率80%，2丫接线，问重绕时应加多少匝数才能使空载电流符合正常值？

答：应增加的重绕线圈每槽线数

$$W_1'=0.95\sqrt{\frac{\delta'}{\delta}\cdot\frac{I_0}{I_0'}\cdot\frac{l_{Fe}}{l_{Fe}'}W_1}$$

$$=0.95\sqrt{\frac{0.6}{0.5}\times\frac{29}{23}\times\frac{270}{260}\times18}=21.4\text{（匝）}\quad\text{取21匝}$$

重绕时采取每槽线数为21匝即可。

〔3-14〕 堵转转矩低的电动机，如何确定重绕线圈匝数？

答：电动机施加额定电压，三相绕组中已流通电流，但转子尚未转动，这时转子产生的电磁转矩叫堵转转矩，也叫起动转矩。堵转转矩大，起动时间短，起动损耗低，说明起动性能好；反之堵转转矩小时，有可能不能起动，尤其拖动重负载机械以及正反转的电机，要求堵转转矩与额定转矩之比大于 2～3.5左右。

堵转转矩与电压平方成正比，当线圈匝数绕多时，电动机相当在低电压下运行，因此影响电动机的堵转转矩，使起动时间加长，甚至不能起动。由此可见，欲提高电动机堵转转矩可以适当减少绕组匝数，增加电动机所承受的电压（实际电源电压未变）。

另外，要考虑到堵转转矩与漏电抗成反比，而漏电抗又与绕组匝数平方成正比，因此堵转转矩与绕组匝数平方成反比。适当减少绕组匝数，可以提高堵转转矩很多。但减少匝数会使磁通密度增加，所以要适当减少匝数。那么到底减少多少合适呢？下面介绍计算公式。

从电机学得知，如果三相异步电动机未加入附加电阻时，大于10kW的电动机的电阻要比其漏电抗 X 小很多，所以可忽略掉电阻的因素，这样就可看成堵转转矩 M_{st} 与漏电抗平方成反比，即：

$$M_{st} \propto \frac{1}{\text{[illegible]}^2}$$

又知，漏电抗与线圈匝数W的平方成正比，所以重绕电动机绕组时，调整线圈匝数时，可按下式进行调整和估算。

$$M_{st} \propto \frac{1}{W_1^4}$$

于是得出下面公式：

$$W_1' = \sqrt[4]{\frac{M_{st}}{M_{st}'}} W_1$$

例：JO2-82-6型三相异步电动机，40kW，$U_N=380\,\text{V}$，$I_N=73.8\text{A}$，每槽线数为24，双叠绕组，3△接线，槽满率76.9%，实测堵转转矩M_{st}为1.2，希望达到1.9，问重绕线圈匝数W_1'是多少？

解：

$$W_1' = \sqrt[4]{\frac{M_{st}}{M_{st}'}}\ W_1 = \sqrt[4]{\frac{1.2}{1.9}} \times 24 = 21.4\ (\text{匝})$$　　取21匝

即每槽线数从24匝减到21匝，即可。

几点说明：

（1）已知此台电动机的槽满率为76.9%，在保持原来绕组型式情况下，由于匝数减少使槽满率也相应降低。因此，有条件加粗导线，降低铜耗来补偿铁耗的增加，避免电动机过热。

（2）采取重绕减匝办法提高堵转转矩。首先，应先查明电动机堵转转矩不足的原因，是电动机本身问题，还是负载机械设备问题，如果是电动机本身问题，又是电动机哪部分原因造成的？比如轴弯、轴承故障、电动机扫膛等，均会造成电动机起动困难。

（3）线圈匝数不可减少太多，否则磁路过饱和，使铁耗和空载电流上升，引起电动机发热。

〔3-15〕　过载能力低的电动机，如何确定重绕线圈匝数？

答：电动机投入电源后，电动机转速从零开始上升，电动机转矩也随着转速开始变化。当转速从零上升到额定转速时，电动机的转矩从堵转转矩开始经过最小转矩上升到最大转矩M_{max}，然

后再降到额定转矩，与拖动的额定负载机械转矩相平衡。在此过程中，转矩与转速之间的变化曲线，叫电动机的转矩-转速特性曲线。

当电动机瞬间过载时，负载机械转矩大于电动机额定转矩，这时电动机转速降低，电动机转矩自动提高与负载机械相平衡继续运行。当负载机械转矩大于电动机最大转矩时，电动机最大转矩小于负载机械阻转矩，电动机被迫停机。由此看出电动机最大转矩 M_{max} 越大，承受负载机械过载能力越强。因此把电动机最大转矩 M_{max} 与电动机额定转矩 M_N 之比，称为电动机的过载能力。

在修理电动机时，欲提高电动机最大转矩，还是要降低绕组匝数。从电机学得知，电动机最大转矩与漏电抗一次方成反比，即 $M_{max} \propto \frac{1}{X}$。

这也是在假定电动机电阻远远小于 X 时的条件下成立的。但又知漏电抗与电动机绕组匝数 W 的平方成正比，于是有下列关系。

$$W_1' = \sqrt{\frac{M_{max}}{M'_{max}}} W_1$$

一般电动机过载能力为2.2～3.5倍，对于起重、冶金设备用的电动机，过载能力可达4.5倍。

例：J2-72-6 型三相异步电动机，22kW，380V，双层叠绕组，2△接线，槽满率75.6%，每槽线数 34 匝，实测最大转矩倍数为1.6，要求通过重绕改为2.4倍，问重绕线圈匝数应是多少？

解：

$$W_1' = \sqrt{\frac{M_{max}}{M'_{max}}} W_1 = \sqrt{\frac{1.6}{2.4}} \times 34 = 27.8 \text{（匝）}$$

取28匝

将电动机原来每槽线数34改成28即可。由于匝数降低，槽满率降低，所以，要加粗导线降低铜耗，使槽满率恢复原来的75.6%左右。

〔3-16〕 电动机堵转电流过大，怎样通过重绕来解决？

答：电动机在起动瞬间，虽然定子绕组施加额定电压，但由于转子有惯性，不能及时转动，这时转速 n 为零，转差率 $s=1$。定子三相绕组由于通电，便产生三相旋转磁场，此磁场以同步转速切割转子绕组，所以，在转子绕组中感应出最大的转子电压产生最大的转子电流，此电流反映到定子绕组中，这时定子电流可达到额定电流的 5～7 倍之多。此时的电流叫起动电流，这时转子是静止的，所以也叫堵转电流，这时产生的转子转矩叫堵转转矩，也叫起动转矩。

一般产品目录上都是用堵转电流和堵转转矩与额定电流和额定转矩之比来表示。

当电动机转动起来之后，定子旋转磁场切割转子绕组的速度降下来，也就是以同步旋转速度减去转子本身转速的转速差切割转子绕组，所以这时转子感应电势降下来，感应电流也降下来，反映到定子时，定子电流也降下来，如果电动机带动额定负载运转，一直到额定电流值。

堵转电流过大会引起电网电压降过大，尤其电网容量小时，更明显，这对附近的电气设备有很大的影响，线损耗也增加。另外对电动机本身也会造成发热。因此，不管什么型式的电动机，在出厂时都有堵转电流倍数和堵转转矩倍数表示在产品样本上。

在修理电动机时，如果碰上电动机堵转电流过大的问题时，可以在重绕绕组时加以调整线圈匝数来解决这个问题。

从电机学上知道，堵转电流 I_{st} 与漏电抗 X 成反比，而漏电抗又与线圈匝数平方成正比，因此，I_{st} 与线圈匝数平方成反比，于是得出下列关系式。

$$W_1' = \sqrt{\frac{I_{st}}{I'_{st}}} W_1$$

式中 I'_{st}、I_{st}——分别表示调整匝数后的堵转电流和调整前的堵转电流（A）

W_1'、W_1——分别表示调整后的线圈匝数和调整前的线圈匝数

例：有一台J2-92-2，125kW三相异步电动机，$U_N=380$ V，$I_N=220$ A，每槽线数13，双叠绕组，槽满率79.8%，导线5-1.68，堵转电流1650A，即堵转电流倍数为$\frac{I_{st}}{I_N}=\frac{1650}{220}=7.5$倍，太大，要求重绕绕组后，$I_{st}/I_N=5.5$倍，即$I'_{st}=1210$A。问重绕的每槽线数$W'$是多少？

解：已知$W_1=13$，求W_1'，按下式计算。

$$W_1'=\sqrt{\frac{I_{st}}{I'_{st}}}\ W_1=\sqrt{\frac{1650}{1210}}W_1$$

$$=\sqrt{\frac{1650}{1210}}\times 13=15.2\ (\text{匝})$$

即每槽线数从13改为15就会使堵转电流倍数从7.5倍降到5.5倍。由于槽满率已达79.8%，所以增加匝数较困难，可考虑减薄绝缘或改变绕组型式等措施解决。

〔3-17〕 怎样改变电动机电压适应电源电压要求？

答：在电动机修理当中，常碰到现有电动机的铭牌额定电压与实际电网电压不符的问题。这时为了利用现有电动机投入电源上使用，就产生了对电动机改电压的问题。另外当电动机改极或改频过程中，也存在改电压的问题。

改变电动机电压有两种方法：（1）改接绕组接线方法，减少或增加每相绕组的串联匝数，在保持每匝电压值基本不变的条件来适应电源电压的要求；（2）重新更换线圈，按照实际的电源电压大小，遵照每匝电压不变的原则，重新计算绕组的匝数和截面积。因此，不论改接线还是重新绕线改电压，都要遵守下面两项条件。

（1）每匝电压保持基本不变，从而保持电动机的磁负载不变，因此电动机改压后的性能基本不变。

（2）保持导线电流密度基本不变，从而保持电动机热负载基本不变，因此改压后的电动机温升能保持不变。

至于改压后的电动机容量或温升，由于受到槽内空间条件和绝缘等级水平的限制，有可能增大也有可能降低。一般而言，高

压电动机改低压电动机时，由于槽内绝缘厚度所占空间较少，所以铜填充系数增大，有可能降低导线中电流密度，从而降低电动机温升或提高电动机容量；反之，低压改高压时，槽内绝缘厚度增加，铜的填充系数要降低，有可能使电流密度提高，使铜耗增加，温升变高，降低容量。为了避免降低容量，可选用耐温等级较高的绝缘材料，以提高电动机耐热等级。

在电动机改接时，还要考虑原来电压等级，如低压电动机，改接成高压电动机时，由于原有绝缘不动，所以原有绝缘水平不适应高电压要求，因此必须进行重绕。反之，高压电动机改为低压使用时，就不存在这个问题。

（1）改接线改变电压计算。改变绕组并联路数和接线方式即改变每相绕组的并联路数，可以成倍地改变相电压大小，从而使相绕组适应电源电压要求，如果每相绕组由串联改为并联，则相电压成倍降低，电流成倍增加，而每根导线中电流密度不变，每匝电压值也不变，因此改接后的电动机性能基本不变；反之，由并联改为串联时，电压成倍增加，电流成倍减少，而导线中电流密度仍不变。

并联路数大小与电动机极数和绕组型式有关，所以在改变绕组并联路数时，要考虑这些条件，比如4极电动机，最大并联路数是4，接不出4路以上的并联路数来。

当改接绕组的连接方式时，比如△接线改丫接线，线电压增加$\sqrt{3}$倍；反之，丫接线改△接线，线电压降低$\sqrt{3}$倍，所以改变绕组连接方式也能改变电动机电压。

通常是把上述两种改接方法同时使用，即改变绕组并联路数，又改变绕组连接方式，从而可以获得各种改接电压。为了改接时参考和计算方便，现列于表3-8。计算时查此表就可以很方便地计算出所需电压和改接方案。

下面介绍计算方法。首先计算出接线前后的线电压比值的百分数，然后按此百分数在表3-8中查出相近的百分数值，便可查到对应的绕组接法。

表3-8　三相绕组改变接线的电压比

（%）

改绕组原接线 / 改后的接线	一路Y接法	二路Y接法	三路Y接法	四路Y接法	五路Y接法	六路Y接法	八路Y接法	十路Y接法	一路△接法	二路△接法	三路△接法	四路△接法	五路△接法	六路△接法	八路△接法	十路△接法
一路Y接法	100	50	33	25	20	17	12.5	10	58	29	19	15	12	10	7	6
二路Y接法	200	100	67	50	40	33	25	20	116	58	39	29	23	19	15	11
三路Y接法	300	150	100	75	60	50	38	30	173	87	58	43	35	29	22	17
四路Y接法	400	200	133	100	80	67	50	40	232	116	77	58	46	39	29	23
五路Y接法	500	250	167	125	100	83	63	50	289	144	96	72	58	48	36	29
六路Y接法	600	300	200	150	120	100	75	60	346	173	115	87	69	58	43	35
八路Y接法	800	400	267	200	160	133	100	80	460	232	152	120	95	79	58	46
十路Y接法	1000	500	333	250	200	167	125	100	580	290	190	150	120	100	72	58
一路△接法	173	86	58	43	35	29	22	17	100	50	33	25	20	17	12.5	10
二路△接法	346	173	115	87	69	58	43	35	200	100	67	50	40	33	25	20
三路△接法	519	259	173	130	104	87	65	52	300	150	100	75	60	50	38	30
四路△接法	692	346	231	173	138	115	86	69	400	200	133	100	80	60	50	40
五路△接法	865	433	288	216	173	144	118	86	500	250	167	125	100	80	63	50
六路△接法	1038	519	346	260	208	173	130	104	600	300	200	150	120	100	75	60
八路△接法	1384	688	464	344	280	232	173	138	800	400	267	200	160	133	100	80
十路△接法	1731	860	580	430	350	290	216	173	1000	500	333	250	200	167	125	100

线电压比值百分数：　　$u\% = \dfrac{U_1'}{U_1} \times 100\%$

式中　U_1'——电动机绕组改接后所要求的线电压（V）

U_1——电动机绕组改接前的线电压，即电动机铭牌上的额定电压（V）

按算出的$u\%$，查表3-8便可得到改接的方案。

例1：有一台老系列75kW的三相异步电动机，2极，500V，1△接线，欲使用在380V三相电源上，问如何改接绕组？

解：$u\% = \dfrac{U_1'}{U_1}100\% = \dfrac{380}{500} \times 100\% = 76\%$

查表3-8接近76%的接线有2丫接线（$u_{表}\% = 86\%$），因为电动机极数是2极，所以将原接线1△改接为2丫接线是可行的。

为了在改绕组接线进行改电压时能保持磁通密度和电流密度基本不变，应使绕组改接后的电压变动ΔU不超过±5%，即：

$$\Delta U = \left|\frac{u\% - u_{表}\%}{u_{表}\%}\right| \times 100\% < 5\%$$

则本例

$$\Delta U = \left|\frac{76\% - 86\%}{86\%}\right| \times 100\% = 11.62\% > 5\%$$

说明改接后，电动机性能有一定变化，根据具体条件可以决定是否采取改接绕组方案。

当1△接线改2丫接线后，合适的电源电压应为$U_1' = 500 \times 86\% = 430$V，而实际电源电压为380V，所以改接后的电动机相当于欠电压运行。如果电动机容量偏大，这样使用反而对节电有利；如果电动机处于额定状态下工作，电动机要发热。因为这时电动机的容量为原来的86%左右，即相当66kW，而过载能力降到原有的77.8%。另外还要考虑起动的方式，如果是采用丫—△起动，则电动机只能接成△接线。

例2：有一台125kW、3kV、12极的三相异步电动机。双层绕组，1丫接线。希望改接绕组，使用在三相380V的电源上，问如何改接线？

解：3kV 改 380V，是降低电压使用，因此线圈绝缘水平不必考虑。

$$u\% = \frac{U_1'}{U_1} \times 100\% = \frac{380}{3000} \times 100\% = 12.66\%$$

查表3-8接近12.66%的有 8 丫接线的和 5 △接线的两个方案。但由于原电动机是12极双层绕组，其并联路数只能接出 2、3、4、6、12，所以接不出 8 丫接线和 5 △接线。因此，这台电动机的改电压只能考虑重绕线圈。

（2）采用延边三角形⊿接法进行改电压。老系列电动机经常有500V、1丫接线的产品，欲使用在380V电源上时，经计算线电压比 $u\%$ 为76%，查表3-8时，查不到接近的电压比，所以只好重绕或直接使用。重绕线圈要消耗许多工时和原材料；直接使用时，电动机会因发热而烧毁。但如果把 1 丫接线改为抽头为 1:1 的⊿接线时，就可以解决问题。

老系列电动机有两种电压，即380V和220V，当用丫接线时，为380V，△接线时为220V。现在设想，使相绕组中线圈一部分接成丫部分，一部分接成△部分，则电动机的线电压大小肯定在380V和220V之间。当丫部分的线圈数偏多时，线电压要上升，全接成丫接时线电压为380V，因此最高电压为380V；当△部分的线圈偏多时，线电压要下降，全接成△绕组时线电压为220V，因此最低电压为 220V。一般为了方便起见，都是使丫部分和△部分的线圈数目相同，或者匝数相同，叫 1:1 抽头方式。

上述 1 丫接线、500V、4 极的三相异步电动机，如改成每相绕组的丫部分和△部分匝数相等（抽头为 1:1）的⊿接线时，就可以直接投入在 380V 三相电源上使用，这时负载控制在 85% 以下，电动机能够正常运行。

计算方法也是先算出线电压比 $u\%$，然后查表3-9接近 $u\%$ 的数值（即 $u_{\text{表}}\%$），便可找出所需的接线方式。

例 3：有一台 100kW、500V、4 极三相异步电动机，1 丫接线。欲改接绕组投入在三相380V电源上运行，问如何改接(已

知负载率为80%)?

解：计算出 $u\%=\frac{U_1'}{U_1}100\%=\frac{380}{500}\times100\%=76\%$，查表3-9得出相近的 $u_{表}\%=78.9\%$，即改为丫部分和△部分匝数相同的△接线。

$$\Delta U=\left|\frac{u\%-u_{表}\%}{u_{表}\%}\right|\times100\%$$

$$=\left|\frac{76\%-78.9\%}{78.9\%}\right|\times100\%=3.6\%$$

所以 $\Delta U<5\%$，说明可以使用。

对于 $u_{表}\%=78.9\%$ 时，电动机改接后合适的电源电压应为 $500\times78.9\%=394.5$（V），而电源实际电压为380V。所以这台电动机相当于降低电压运行，电动机转矩降到原有的92.5%，容量降为原来的96.2%，即96.2kW。实践指出，长期运行在85%的额定负载下的电动机属正常。

（3）重绕改电压计算。电动机不能靠改接线进行改压时，就要考虑电动机绕组重绕。重绕原则也是保持电流密度和每匝电压基本不变，从而使气隙磁通密度和热负载基本不变。在电动机极数、接线方式、并联路数不变条件下，应保持电源电压与绕组匝数成正比，与导线截面积成反比的关系。

由于保持每匝电压不变，所以定子改电压时，转子绕组可不动。

① 改压后的每槽匝数：

$$W_{s1}'=W_{s1}\frac{U_1'}{U_1}$$

式中 W_{s1}'、W_{s1}——分别表示重绕后和重绕前的每槽匝数

U_1'、U_1——分别表示重绕后和重绕前的电源电压(V)

② 改压后的导线截面积：

$$S'=S\frac{U_1}{U_1'}$$

式中 S'、S——分别表示重绕后和重绕前的导线截面积(mm^2)

表3-9　绕组改接抽头为1:1的△接时线电压比值a%表

改后接线 \ 原接线 u%	一路Y接法	二路Y接法	三路Y接法	四路Y接法	五路Y接法	六路Y接法	八路Y接法	十路Y接法	一路△接法	二路△接法	三路△接法	四路△接法	五路△接法	六路△接法	八路△接法	十路△接法
一路△接法	0.789	1.58	2.37	3.16	3.94	4.74	6.31	7 89	1.364	2.732	4.09	5.46	6.28	8.19	10.91	13.64
二路△接法	0.395	0.789	1.18	1.58	1.97	2.37	3.16	3.95	0.683	1.364	2.045	2.73	3.41	4.09	5.46	6.83
三路△接法	0.263	0.576	0.789	1.05	1.31	1.58	2.11	2.63	0.455	0.91	1.364	1.82	2.27	2.73	3.64	4.55
四路△接法	0.197	0.395	0.592	0.789	0.985	1.18	1.58	1.97	0.341	0.682	1.03	1.76	1.71	2.04	2.73	3.41
五路△接法	0.158	0.316	0.474	0.632	0.789	0.949	1.26	1.58	0.273	0.546	0.8[illegible]	1.09	1.364	1.64	2.18	2.73
六路△接法	0.132	0.263	0.394	0.526	0.658	0.789	1.05	1.31	0.228	0.455	0.682	0.91	1.14	1.36	1.82	2.28
八路△接法	0.0936	0.197	0.296	0.395	0.493	0.593	0.789	0.986	0.171	0.342	0.512	0.683	0.853	1.03	1.36	1.71
十路△接法	0.0789	0.158	0.237	0.316	0.395	0.474	0.631	0.789	0.136	0.273	0.409	0.546	0.682	0.819	1.09	1.36

需要说明一下：

① 当高压改为低压时，由于槽内绝缘所占比例降低，有条件都可增大导线截面积，实际的截面积可选择比计算值 S' 大，由实际合理的槽满率来最后确定出导线截面积，这样可提高电动机效率和降低电动机温升。

② 当低压改高压时，由于槽内绝缘加厚，按公式计算出的截面积 S' 应适当减少，最终也由槽满率校验结果来确定。

③ 考虑老电动机槽内绝缘较厚，所以对加粗导线直径有利，这样通过改电压也可提高电动机效率。因此，建议适当放粗一档以上的导线规格。

例：有一台 JO72-4，20kW 电动机，220V/380V。△/丫接线，导线双纱包铜线，用 5 根 ϕ1.56 并绕（即用 5-ϕ1.56），每槽14匝，双层绕组。直接投入电网时，堵转电流过大。为限制堵转电流，要求改成 380V、△接法运行，起动时为丫接法。试计算重绕匝数。

解：重绕后的每槽匝数：

$$W' = W\frac{U_1'}{U_1} = 14\left(\frac{380}{220}\right) = 24.2 \quad \text{取24匝}$$

重绕后的导线截面积：

$$S' = S\frac{U_1}{U_1'} = 5 \times 1.911\left(\frac{220}{380}\right) = 5.52\ (\text{mm}^2)$$

因 ϕ1.56 导线截面积为 1.911mm^2，所以按 $S' = 5.52\text{mm}^2$ 计算可选 4 根 ϕ1.35mm 并绕（即 4 -ϕ1.35）。

为了提高电动机效率，充分利用槽面积，还可按下面方法计算导线截面积：5-ϕ1.56/ϕ1.85 双纱包线 如 改用高强度漆包线时，则可选为 5 -ϕ1.74/ϕ1.85，所 以考虑导线 绝 缘减薄后导线截面积为：

$$S' = S\frac{U_1}{U_1'} = 5 \times 2.38\frac{220}{380} = 6.86\ (\text{mm}^2)$$

$S' = 6.86\text{mm}^2$ 相当于 5 -ϕ1.35 导 线 并 绕，这样铜导线增加 20% 的截面积，电动机效率可提高 3 % 左右。

〔3-18〕 电动机改极数时，要考虑哪些技术问题？

答：首先要校核改极数后定、转子槽配合是否适应新极数的要求，其次还要考虑轴承和转子强度以及电压等级等等。

（1）定、转子槽配合校验：

① 为防止改极后电动机发生“爬行”现象，要求下面不等式成立，即：

$$Z_2 \neq p(3i+1)$$

$$Z_2 \neq p(3i)$$

② 为防止电动机在起动时发生卡住现象，要使下面不等式成立，即：

$$Z_2 \neq Z_1 + \frac{p}{2}$$

$$Z_2 \neq Z_1 + p$$

$$Z_2 \neq 0.5Z_1 + \frac{p}{2}$$

$$Z_2 \neq 2Z_1 + p$$

③ 为防止电动机运行时产生噪声和振动，要使下面不等式成立，即：

$$Z_2 \neq p(3i \pm 1)$$

$$Z_2 \neq 3i \pm (p+1)$$

式中 i——自然整数，如1、2、3……n

p——电动机极对数

Z_1、Z_2——定、转子槽数

按上面给出的不等式进行验证，如不符合要求时，还要按经验数据查槽配合。因此，上面介绍的校验条件不是绝对的。这是因为每台电动机具体结构不尽相同，同时还有直槽和斜槽之别，为了便于确定正确的槽数比，在表3-10中介绍了槽数比推荐值，可供重绕计算时参考。

例1：JO2-92-10型40kW三相异步电动机，要求10极改6极，已知定、转子槽数分别为60、64，经上面不等式的校验计算，

表3-10　三相异步电动机定、转子槽数推荐表

极数	定子槽数	转子槽数 直槽	转子槽数 斜槽
2	18	—	16；26
	24	16；32	18；20；30；31；33；34；35
	30	22；38	18；20；21；23；24；37；39；4[illegible]
	36	26；28；44；46	25；27；29；43；45；47
	42	32；34；50；52	—
	48	38；40；56；58	37；39；41；55；57；59
4	24	32	16；20；22；30；33；34；35；36
	36	26；44；46	24；27；28；30；32；45；48
	42	34；50；52；54	33；34；38；51；53
	48	38；43；56；58；62；64	36；39；40；44；57；59
	60	50；52；68；70；74	48；49；51；56；64；69；71
	72	62；64；80；82；86	61；63；68；71；76；81；83
6	36	26；42；48；	33；37；49；50
	54	44；64；66；56；68	42；43；65；67
	72	56；58；62；82；84；86；88	57；59；60；61；83；85；87
	90	74；76；78；80；100；102；104	75；77；79；101；103；105
8	48	34；62；64	35；44；61；63；65；44；46
	54	—	58；62
	72	58；86；88；90	59；57；59；85；87；89
	84	66；68；70；98；100；102；104	68；69；71；97；99；101
	96	78；82；110；112；114	79；80；81；83；109；111；113
10	60	44；46；74；76	57；63；77；78；79
	90	66；72；74；76；104；106；108；110；112；114	70；71；73；87；93；107；109
	120	86；88；92；94；96；98；102；104；106；134；140；142；144；146	99；101；103；117；123；137；139
12	72	56；64；80；88	69；75；80；89；91；92
	90	68；70；74；82；98；106；110	71；73；86；87；93；94；107；109
	108	86；88；92；100；116；126；128；130；132	84；89；91；104；105；111；112；125；127
	144	124；128；136；152；160；164；166；168；170；172	125；127；141；147；161；163

完全符合要求。改 6 极后，电动机运转正常，性能良好。

例 2：JO2-72-6型，22kW三相异步电动机，要求 6 极改 4 极，定、转子槽数比为36/33。槽配合校验如下。

$33 \neq 4(3i+1)$，$33 \neq 4 \times 3i$，$33 \neq 36+2$

$33 \neq 36+4$，$33 \neq 18+2$，$33 \neq 2 \times 36+4$

$33 \neq 4(3i \pm 1)$，$33 \neq 3i \pm (4+1)$

以上不等式均成立。

电动机改后运行正常。

（2）减少电动机极数，要考虑轴承发热情况是否允许。对于滚动轴承，要考虑轴承摩擦损耗。

$$\Delta P = 0.15 \frac{m}{D_0} \sqrt{v_z}$$

式中 m——滚动轴承环上的负载（N）

D_0——滚珠中心圆周的直径（cm）

v_z——轴颈直径的圆周速度（m/s）

（3）增加转速后，还要校验转子强度能否适应新的圆周速度要求。

转子圆周速度为：

$$S_z = \frac{\pi D_2 n_2}{60 \times 1000} \quad (\mathrm{m/s})$$

式中 D_2——转子外径（mm）

n_2——转子转速（r/min）

笼型转子：$S_z < 40 \sim 60$（m/s）

（4）增加转速时，还要考虑改极后的电动机转矩是否满足生产设备的需要。

$$M_{2N} = M_{1N} \frac{P_{2N}/n_2}{P_{1N}/n_1}$$

式中 M_{1N}、M_{2N}——分别表示改极前后电动机的额定转矩（N·m）

P_{1N}、P_{2N}——分别表示改极前后电动机输出功率（kW）

n_1、n_2——分别表示改极前后电动机的转速（r/min）

（5）极数降低后，由于线圈跨距增大，线圈轴向长度加长，会产生线圈端部碰端盖现象，因此，要考虑结构是否允许；同时还要考虑由于导线截面积增大，槽口尺寸能否纳入增粗的线径。

（6）增加转速时，还要考虑轴承润滑脂和轴承寿命能否符合新转速的要求。

（7）当电动机减速时，由于通风条件变坏，所以还要考虑散热问题。

（8）绕线型电动机，要定、转子同时改变极数，使其极数一致；笼型转子电动机因转子是短路多相对称绕组，会自动跟随定子极数变更自己的极数，所以不存在转子改极问题。

（9）在改线圈端部接线时，因为不动原来线圈，线圈跨距不能改变。对于新极数，原来线圈跨距不再适应，影响绕组系数降低，同时也会影响磁势波形变坏，所以当改极后的绕组短距系数小于0.707时，就没有必要改接。因此，要事先计算改极后的绕组短距系数。

另外，由于不变动旧线圈，电动机每相匝数是固定的，根据新极数所要求适合的匝数往往不易找到，通常是减匝容易增匝难。减匝时可以甩掉一些线圈，而欲增匝时只能靠降低并联路数和改变绕组的接线方式，如△接法改丫接。法如果原来是一路丫接，就无法增匝了，因此，也就不能增加极数了。对于国产JS、JSQ、JR、JRQ、JK等系列的6kV级高压电动机，绕组都是一路丫接，因此，靠改接线方式增加这类电动机的极数仍用在6kV电源上是不易办到的。上述系列电动机，3kV级电动机有些是两路丫接，还有增加极数的可能。相反地，上述系列电动机欲降低极数，可能性就比较大些。

(10) 容量较大的低压交流电动机，由于并联路数较多，所以增加极数的可能性较大。相反地，欲减少极数时，也就是需要增加并联路数时，又会碰到困难。在一般情况下，q为偶数的单层绕组和双层绕组的最大并联路数等于电动机的极数，而q为奇数时，单层绕组的最大并联路数只有极数的一半。因此，欲增加并

联路数会受到电动机极数的限制未达到减匝的目的，只能考虑甩掉部分线圈。这时要考虑电动机容量会降低。

从上面分析看出，由多极改少极的可能性比少极改多极的可能性大得多。

(11) 电动机改极时，有时要求电压也同时改变，使改极的电动机投入新电源上运行，这时要考虑由低压改高压后旧绕组绝缘水平的限制。如果改极后电压变化不大，在同一绝缘等级范围内变动，这是允许的。按修理经验，将电动机绝缘等级划分为六个等级，在同一等级范围内变动是允许的，见表3-11。

表3-11 修理电动机绝缘等级分类表

绝缘等级分类	电压范围(V)	绝缘等级分类	电压范围(V)
一 类	750及以下	四 类	3500～6000
二 类	750～1200	五 类	6000～8000
三 类	1200～3500	六 类	8000～10000

当然由高压改低压使用时，就不必考虑绝缘问题了。

将高压电动机改为低压使用时，需要降低绕组匝数，为此，可增加并联路数、变更接法（由丫接法改△接法）和甩线圈等。在甩线圈时，要注意各线圈组磁势平衡问题，因此，要求均匀、对称地甩掉部分线圈。

(12) 能否改接线圈的端部接线，还要取决于绕组浸漆和接线的具体情况，比如绕组浸无溶剂漆，线间联接不易查清，又无法拆开接线和焊接头，那只好重绕了。

〔3-19〕 电动机改极数时，如何进行简易计算？

答： 当前许多生产单位为了提高产量或节能，降低生产成本，往往要求改变电动机的转速。为此有可能靠改变电动机的极数来达到改转速的目的。例如JSQ380-6型、380kW电动机，6极，2丫接线，电压3kV，改8极1△接线后，每小时电耗从213kW·h降到91kW·h。可见节能效果是显著的。

改变电动机极数最简单方法是改接绕组的接线方式，对于笼型转子电动机，改接成功的可能性大。因为，转子是笼型的，其极数会自动随定子极数改变而改变，不必改转子绕组极数。对于绕线型转子电动机改极时，由于要求定、转子绕组的极数要相同(否则电动机不能正常运行)，所以转子也要进行改接线变极数，这对于插铜条式的转子结构是非常困难的，有时还要碰到非对称分数槽绕组的分配问题，所以改造可能性不如笼型转子大。

如果电动机旧绕组数据齐全，在改极计算时，不必再进行复杂的重绕计算，只要按表3-12中所给的计算公式进行简易的计算，便可获得重绕数据。

例：有一台 JO2-72-6、22kW三相异步电动机，380 V，44A，△接线，并联路数为 $a_6=3$，线圈节距 $y_1=1-6$ 槽，定、转子槽数比 $Z_1/Z_2=36/33$，线规为 1-ϕ1.30 及 1-ϕ1.25 (即用一根 ϕ1.30 和一根 ϕ1.25 导线并绕)。要求将 6 极改 4 极。试计算重绕数据。

解：经校验槽配合，允许改 4 极运行。

(1)设 6 极改 4 极时，线圈仍采用△接线，所以 $U_1'=U_1$，选 $a_4=2$。则 6 极时绕组系数 K_{dp6} 计算如下。

每极每相槽数：$q_6=\dfrac{Z_1}{6p}=\dfrac{36}{18}=2$

槽距角：$\alpha=\dfrac{60^\circ}{q_6}=\dfrac{60^\circ}{2}=30^\circ$

每极槽数：$Z_{p1}=\dfrac{Z_1}{2p_6}=\dfrac{36}{6}=6$

因 $y_6=1-6$ 槽，所以 $\beta=\dfrac{y_6}{Z_{p1}}=\dfrac{5}{6}=0.833$

短距系数 $K_{p1}=\sin(90^\circ\beta)=\sin(90^\circ\times0.833)=0.966$

分布系数 $K_{d1}=\dfrac{0.5}{q_6\sin\dfrac{\alpha}{2}}=\dfrac{0.5}{2\sin15^\circ}=0.966$

表3-12　改极简易计算公式表

项目 极数变更	每相串联匝数(或每线匝数)	导线截面积(mm²)	电动机容量(kW)
2极改4极	$W_4=(1.4\sim1.5)\frac{a_4K_{dp2}}{a_2K_{dp4}}W_2$	$S_4=(0.75\sim0.8)\frac{a_2}{a_4}S_2$	$P_4=(0.55\sim0.6)P_2$
2极改6极	$W_6=(1.82\sim2.1)\frac{a_6K_{dp2}}{a_2K_{dp6}}W_2$	$S_6=(0.6\sim0.64)\frac{a_2}{a_6}S_2$	$P_6=(0.39\sim0.42)P_2$
4极改2极	$W_2=(0.7\sim0.75)\frac{a_2K_{dp4}}{a_4K_{dp2}}W_4$	$S_2=(1.2\sim1.27)\frac{a_4}{a_2}S_4$	$P_2=(1.3\sim1.4)P_4$
4极改6极	$W_6=(1.3\sim1.4)\frac{a_6K_{dp4}}{a_4K_{dp6}}W_4$	$S_6=(0.8)\frac{a_4}{a_6}S_4$	$P_6=0.7P_4$
4极改8极	$W_8=(1.63\sim1.82)\frac{a_8K_{dp4}}{a_4K_{dp8}}W_4$	$S_8=(0.72)\frac{a_4}{a_8}S_4$	$P_8=0.56P_4$
6极改2极	$W_2=(0.53\sim0.64)\frac{a_2K_{dp6}}{a_6K_{dp2}}W_6$	$S_2=(1.38\sim1.53)\frac{a_6}{a_2}S_6$	$P_2=(1.63\sim1.82)P_6$
6极改4极	$W_4=(0.75\sim0.85)\frac{a_4K_{dp6}}{a_6K_{dp4}}W_6$	$S_4=(1.15\sim1.20)\frac{a_6}{a_4}S_6$	$P_4=(1.25\sim1.30)P_6$
6极改8极	$W_8=(1.25\sim1.3)\frac{a_8K}{a_6K}W_6$	$S_8=(0.9))\frac{a_6}{a_8}S_6$	$P_8=).8P_6$
8极改4极	$W_4=(0.6\sim0.8)\frac{a_4K}{8}W_8$	$S_4=(1.26\sim1.38\frac{a_8}{a_4}S_8$	$P_4=(1.5\sim1.63)P_8$
8极改6极	$W_6=(0.8\sim0.95\frac{a_6K_{dp8}}{a_8K_{dp6}}W_8$	$S_6=(1.1\sim1.15)\frac{a_8}{a_6}S_8$	$P_6=(1.2\sim1.25)P_8$

所以绕组系数 $K_{dp6}=K_{p1}K_{d1}=0.966\times0.966=0.933$

（2）4 极时绕组系数计算如下。

每极每相槽数：$q_4=\dfrac{Z_1}{6p_4}=\dfrac{36}{12}=3$

槽距角：$\alpha=\dfrac{60^\circ}{q_4}=\dfrac{60^\circ}{3}=20^\circ$

每极槽数：$Z_{p1}=\dfrac{Z_1}{2p_4}=\dfrac{36}{4}=9$，取 $y_4=8$，则：

$$\beta=\frac{y_4}{Z_{p1}}=\frac{8}{9}=0.888$$

短距系数：$K_{p1}=\sin(90^\circ\beta)=\sin\left(90^\circ\times\dfrac{8}{9}\right)=0.985$

分布系数：$K_{d1}=\dfrac{0.5}{q_4\sin\dfrac{\alpha}{2}}=\dfrac{0.5}{3\sin10^\circ}=0.96$

绕组系数：$K_{dp4}=K_{p1}K_{d1}=0.985\times0.96=0.946$

（3）查表3-12得出改 4 极电动机时绕组数据如下。

4 极时的每线圈匝数（选 4 极时并联支路数 $a_4=2$）

$$W_4=(0.75\sim0.85)\frac{a_4}{a_6}\frac{K_{dp6}}{K_{dp4}}W_6$$

$$=0.8\times\frac{2\times0.933}{3\times0.946}\times42=22.09\text{（匝数/线圈）取22匝}$$

式中　系数取0.8。

4 极时导线直径或截面积：

$$d_4=(1.07\sim1.09)\frac{U_1a_6}{U_1'a_4}d_6=(1.07\sim1.09)\frac{a_6}{a_4}d_6$$

$$S_{s4}=(1.15\sim1.20)\frac{a_6}{a_4}S_{s6}$$

已知原导线为 $\phi1.30$ 及 $\phi1.25$ 两根并绕，所以总截面积 $S_6=2.554\text{mm}^2$，代入上式得

$$S_4=(1.15\sim1.20)\frac{3}{2}\times2.554=4.6(\mathrm{mm}^2)$$

式中，系数取1.20。为绕制线圈方便，工艺性好，可以选用3-ϕ1.20及1-ϕ1.25并绕（即用3根ϕ1.20和1根ϕ1.25导线并绕）。

改4极后电动机容量为：

$$P_4=(1.25\sim1.30)P_6=1.30\times22=28.6\ (\mathrm{kW})$$

$$v=\frac{\pi Rn}{60}=\frac{\pi\times0.210\times3000}{60}=32.97\ (\mathrm{m/s})$$

此值小于40～60 m/s，说明可以改极。

〔3-20〕 绕组重绕时将半开口槽硬线圈改为圆导线的软线圈可以吗？

答：在修理单位有时用圆导线绕制线圈代替原来的扁铜线绕制的硬线圈，这样做的目的是节省张形、模压等工序，同时也可用圆导线代替一时购不到的扁铜线。

另外在制造厂制造电动机时对于半开口槽低压电动机线圈也是多用圆导线绕制线圈，如国产电动机13号机座以上的电动机多半采用半开口槽圆导线绕制散嵌线圈(即软线圈)。最近有YR系列55kW、75kW、90kW改软线圈，改造后电动机材料费省346元、省工44 h。但这种软线圈比硬线圈工作的可靠性差，原因是散嵌线圈端部固定不好，尤其有单根导线悬空未能与其他线匝粘结成整体时，极易发生匝间短路。再有就是端部散热不好。另外，由于圆导线在槽内排列不均匀，匝间电压分布不均，嵌线时易损伤绝缘。由于槽内有导线交叉现象也易发生匝间短路故障。

相反地，在修理重绕线圈时，如果将圆导线绕制的软线圈改为用扁铜线绕制的硬线圈时，则有以下好处。

（1）由于端部线圈边之间有一定间隙，所以散热好，由于端部排列整齐，不易发生匝间短路。

（2）槽内利用率好，圆导线之间空隙较大，所以槽满率低，扁铜线线圈有条件增大导线截面积以降低铜耗，提高电动机效率。

在修理电动机时，不可图省事将扁铜线绕制的硬线圈用软线圈代替；如有条件最好将制造厂出厂的散嵌软线圈改为硬线圈，以提高修理质量。如果必需将硬线圈改为软线圈时，要注意以下问题：

① 用于低压电动机上，或者高压电动机改低压电动机时；② 线圈端部要用粘度高的绝缘漆浸渍，并且端部线圈要绑扎牢固；③ 有条件时，可适当增加铜导线截面积，缩短线圈端部长度以降低铜耗；④ 增加并联支路数，减少并绕根数。

对于高压电动机和频繁起、制动的电动机一般不要以软线圈代替硬线圈。

〔3-21〕 修理电动机时，怎样才能提高电动机绕组耐电压水平？

答：通常电动机绝缘的击穿包括下列几个部位：① 匝间绝缘击穿；② 对地绝缘击穿，包括槽口绝缘对铁心击穿和槽底、槽两侧绝缘对铁心击穿；③ 相间绝缘击穿，包括槽内相间绝缘击穿、端部相间绝缘击穿等。

（1）造成绕组匝间绝缘击穿的原因及改进措施分别介绍如下。

① 造成绕组匝间绝缘击穿的原因：

（a）绕组端部固定不好，或浸渍处理不良，绝缘漆粘结不牢，电动机运行时在电磁力振动下匝间绝缘相互摩擦，使导线外包绝缘产生小裂痕和局部损伤，最后形成绕组端部线匝间击穿。槽内导线由于嵌线时排列不整齐或浸漆不彻底未能填满线匝之间的空间，也易造成匝间绝缘击穿。

（b）槽满率较高，嵌线交叉，导线排列不齐，嵌线时将导

线硬压入槽内，划伤导线绝缘，均会造成匝间绝缘击穿。

（c）绕组并联支路多，使槽内匝间电压升高，在电动机起动或正反转时，产生过电压击穿线圈匝间绝缘。

（d）高压电动机线圈首尾匝未加强绝缘，过电压使绕组匝间电压分布不均，也会造成线圈匝间击穿。

（e）由于绕组对地或相间发生击穿故障而造成线圈匝间击穿。

② 改进措施：

（a）嵌线前要对电磁线进行严格检查，不合格品不许用。

（b）槽满率要合适，一般为75%左右。

（c）浸漆粘度要合适，浸漆工艺要符合规定。要求绝缘漆填满槽内所有空间，使槽内和绕组端部形成坚实的整体。

（d）要加强线圈端部的固定，对于较大容量低压电动机，每个线圈端部要用绑扎带（或用无纬带）半叠包扎一层，一直包到槽口处为止。嵌线后端部要用涤纶丝套管按工艺包扎紧。

（e）对于高压电动机绕组首尾匝要加强绝缘，用绝缘等级与电动机绝缘相同的涤纶带半叠包一层，以防过电压的冲击。

（2）造成绕组对地击穿的原因及改进措施分述如下。

① 造成绕组对地击穿的原因：

（a）修理铁心时留下毛刺，槽内有残余铁屑或锉槽时槽口被锉出毛刺，这些毛刺易刺破绝缘纸，造成对地击穿故障。

（b）线圈嵌线时，因槽满率高，强行拷打导线，使其绝缘破损或被毛刺刺破。

（c）线圈轴向尺寸做大，使线圈端部顶撞端盖，线圈被击穿；线圈轴向尺寸做小，在槽口弯喇叭口时，槽绝缘被槽口压破。

（d）绝缘材质不好，如过期、老化变脆，导线退火不好，太硬等均会影响嵌线质量。

② 改进措施：

（a）绕线前要检查电磁线质量和绝缘材料质量，不合格品不能使用。

（b）嵌线前要清理铁心槽内是否干净，用压缩空气吹净槽内残余脏物，尤其铁毛刺要清除干净。

（c）要制造出正确的绕线模，尺寸符合要求。

（d）遵守嵌线工艺规程。

（3）造成绕组相间击穿的原因及改进措施，分述如下。

① 造成绕组相间击穿的原因：

（a）槽内层间垫条宽度不够或垫偏。

（b）端部相间三角垫放置不正确，未能接触到铁心根部，同时要求三角垫边缘突出线圈边 3～5 mm。

（c）引线焊接处有毛刺或绝缘包扎不严。

（d）浸渍处理不良。

② 改进措施：

（a）异相线圈端部的相间三角垫尺寸要正确，要放到铁心根部并与伸出槽口的槽绝缘重叠 5～10mm。

（b）槽内层间垫条宽度尺寸要正确，对于散嵌绕组要求垫条宽度能包住下层线圈，使上下层的线圈隔离开。

（c）连接线的焊接头要锉掉残余的锡瘤和毛刺。焊接处包扎的绝缘厚度不少于槽绝缘厚度。

（d）嵌线时要严格遵守嵌线工艺规程，不可猛烈敲打导线。打入槽楔时，要先将槽楔端头削成圆弧，以防槽楔推入槽内时刮破绝缘纸。

（e）认真贯彻浸渍处理工艺。建议采用快干1038绝缘漆，由于该漆是有溶剂的，所以还是要浸两遍漆。第一次漆粘度要稀（20～23 s），使漆进入绝缘材料的毛细管内。第二次漆粘度要稠些，目的是形成漆膜（32～35 s）。如果第一、二次用同样粘度的漆（注意：调查一下，许多电机修理单位就是这样干的），造成浸渍不透，影响绝缘质量。

线圈在浸漆前要预烘，目的是驱除线圈潮气和加热线圈，因为浸漆时要求线圈有 60～70℃ 的温度，否则浸不透。一般对于 3～5 号机座预烘 3 h，6 号以上机座要预烘 5 h。预烘温度高

低取决于绝缘等级，要在绝缘等级的耐热温度再加5～10℃，预热的绝缘电阻值要求在120℃时为20 MΩ。

浸渍后烘干也有两个阶段，第一阶段是使绝缘中挥发物挥发掉，一般苯类的挥发点为78.5℃，所以炉温应控制在70～80℃即可挥发。温度不必过高，这是低温烘干阶段，要勤放风，时间4～6 h。烘干第二阶段是使漆基氧化阶段，也就是要形成漆膜阶段，所以在这个阶段要多进入新鲜空气（氧气），使绕组表面形成牢固、光亮的漆膜，这时炉温可控制在130±5℃，属于高温烘干阶段。时间5～7 h。当绝缘电阻达到稳定，连续2～3 h内不变，即认为烘干完毕。以上介绍的是1038绝缘漆烘干工艺，如果仍用1032漆，那么要把烘干时间增大一倍即可。

〔3-22〕 提高起重、冶金电动机绝缘时如何考虑降低成本问题？

答：老系列起重、冶金电动机槽绝缘是采用云母箔材料。这种绝缘材料机械强度差，发脆，绝缘也厚，后来国内研究出DMD或DMDM绝缘纸，机械强度和耐热性均理想，绝缘等级为B级，在修理时用DMD或DMDM代替老电动机的云母箔绝缘结构，槽绝缘厚度可减薄，给加粗导线直径降低铜耗创造了条件。但电磁线是选用QZ-2型高强度漆包圆铜线，虽然比QZ-1型的绝缘厚度厚一些，但由于不耐热冲击，使定子绕组有时发生匝间短路故障，后来改用双玻璃丝包或单玻璃丝漆包线，效果好些。由于冶金、起重电动机运行环境非常恶劣（如炼钢车间环境温度达50℃左右），所以修理单位碰到这种电动机重绕时又把绝缘等级提高到F级和H级。我国F级的绝缘复合箔有F级DMD、芳香族聚酰胺纤维纸聚酯薄膜复合材料NMN，聚砜酰胺纤维纸聚酯薄膜复合材料SMS，以及OMO等。H级绝缘复合箔有芳香族聚酰胺纤维纸聚酰亚胺薄膜复合材料NHN，聚砜酰胺纤维纸聚酰亚胺薄膜复合材料SHS以及OHO等。

当定子绕组槽绝缘改为F级时，建议优先采用F级DMD，价格比较便宜，其次可考虑NMN、SMS、OMO等绝缘材料。但

不宜选用贵重的聚酰亚胺薄膜（俗称“黄金纸），比如YZR、YZ系列电动机、40kW以下可选用0.30mm厚的一层F级DMD或NMN、SMS等材料，(OMO绝缘材料系大连地区产品，不常用)。这样可代替以往修理单位常用的绝缘结构，即0.25NMN+0.05聚酰亚胺薄膜各一层，也就是把昂贵的亚胺薄膜去掉。对于YZR、YZ系列45kW以上电动机，可采用0.30mm厚F级DMD或NMN、SMS一层加上0.17mm厚F级漆布一层，代替现有的0.25mm NMN +0.05mm聚酰亚胺薄膜+0.17mm F级漆布。

当考虑采用H级绝缘时应慎重，环境是否需要电动机达到H级绝缘等级，因为H级绝缘材料较贵，比如F级的NMN160元/kg，而H级的NHN为350元/kg。

一台电动机改为F级或H级绝缘等级，是指电动机整体承受耐热程度而言，并不是电动机内所有的绝缘材料都是使用F级的，这是两个概念。因此，对于改造的电动机应先调查发热部位，“对症下药”。对于一台电动机，可能定子是H级，而转子F级也是可以的。

再有选择绝缘材料时，要考虑各种绝缘材料的相容性，如果相容性不好，既或各种绝缘本身都是F级的，但组合在一起之后达不到F级水平。

再有改造的电动机要针对发热区域进行加强绝缘，事实上改造的电动机也不会真正成为F级或H级电动机，因为电动机制造时硅钢片涂漆的绝缘等级在修理时并没有改变。通常对于A级、E级电动机硅钢片的涂漆牌号是1611，属A级绝缘漆。B级电动机的硅钢片是采用5364、9163绝缘漆。F级是采用H52-1、E-9、114绝缘漆。而H级是采用947-S、W35-1、PAI-Q等绝缘漆。

对于铜导线的铜焊钎焊材料应采用超银焊料FWL-1B，不含银，熔点740～680℃，助钎剂为缩水硼砂。

〔3-23〕 怎样修复国外插入式转子线圈绝缘？

答：国外插入式转子线圈绝缘特点是绝缘等级高（一般是F级）、绝缘厚度薄，线圈绑扎的无纬带强度也高，绝缘采用真空浸

渍处理。在缺少大型真空浸渍设备的电机修理单位和缺少合适的绝缘材料时，修复这种电动机是比较困难的。

为了解决这些困难，并把国外插入式转子线圈绝缘修复好，首先在选用绝缘材料方面应选用国内先进优质的绝缘材料代替国外绝缘材料。通过修理国外电动机经验表明，线圈直线部分绝缘材料可采用整张F级桐马环氧粉云母箔或整张F级柔软粉云母板（NMN型），采取滚包工艺修复。这样做可以达到F级和薄绝缘结构的要求。

滚包工艺有两种，一种是在滚包机上完成，另一种是手工滚包。修理单位以手工滚包为主，所以，下面介绍手工滚包工艺要点。

为了实现手工滚包，可自制一个加热平台和两根滚杠。

将选好的绝缘纸箔铺在加热平台上，加热到160～180℃软化绝缘纸箔。整张的绝缘纸箔应按线圈尺寸要求剪成梯形，500V电动机，斜度10mm；500V以上电动机，斜度15mm。在热平台上将绝缘云母箔和上胶纸粘合，导线表面刷胶晾干。将晾干的导线放在绝缘纸箔上开始滚包，用ϕ40mm左右的滚杠压紧导线外边的绝缘，边包边滚压，要求绝缘纸箔与导线粘结紧密，不可出现发空现象，经反复滚压，最后全部绝缘纸箔包滚好。检查外形尺寸符合要求后，再大量施工。线圈冷却后绝缘表面不应有鼓起和起泡现象。

如有滚包机，可选用F级塑料粉云母板，或用聚酯薄膜补强的粉云母箔做为主绝缘滚包。

转子绑扎材料可选用F级网形无碱玻璃丝带绑扎，这种材料拉伸强度较大，可以代替国外无纬带，如担心强度不够也可增加几匝，以增强绑扎强度。

因为没有真空浸渍设备，所以选用多胶云母带较好。在热平台上滚包时，可以挤出多余的胶，从而排除云母带中空气，使各层之间密实。实践表明这种方法是能保证质量的。

关于真空浸渍设备，建议用自制滚浸真空浸渍设备。将转子

卧放在能转动转子的轴承支架上，转子的转动可用电动机带动，转子下边放入绝缘漆槽，让转子下半圆沉浸在绝缘漆槽内，由于电动机拖动转子转动，所以，转子绕组可完全浸上绝缘漆。这套装置完全放在能抽真空的大罐内，大罐设有抽真空的设备和仪表。这种自制简易真空浸渍装置可以代替正规的真空浸渍设备，质量不错，唯一不足的是缺少压力，绝缘漆不是靠压力压入绝缘毛细孔中，只是靠真空吸入，所以质量要差一些。这套自制设备鞍山钢铁公司电机修理厂已制成，使用效果良好。

〔3-24〕 引进国外二手电动机如何进行简易改频计算？

答： 在改造国外二手电动机时，通常碰到的有下列两种改频计算。

（1）改频时保持原电动机额定电压、极数和转矩不变（即恒转矩改频）。

（2）改频时保持原电动机额定电压、极数和输出功率不变（即恒功率改频）。

常用的60Hz改50Hz 重绕计算时，可按表3-13所列公式进行。应说明的是：

① 表内计算公式是在假定过载系数$\lambda'_m=\lambda_m$不变和电阻$r_1 \ll (x_1+x'_2)$的条件下推导出来的，当电源频率很低时，误差将有所增大，这时在计算中适当减少一些匝数或提高一些电压值；对于小容量电动机，$r_1 \ll (x_1+x'_2)$的假定条件也会有些偏差，所以也要修正适当匝数。经验表明，10kW以上电动机均能满足$r_1 \ll (x_1+x'_2)$的条件，因此按表内公式计算，具有足够的准确性。

② 另外，转速升高时，要校验转子强度和绑扎带的强度。

〔3-25〕 修理国外电动机时，怎样选用国产绝缘材料代用？

答： 修理国外电动机绕组时，碰到最大的困难是国外电动机线圈绝缘薄，绝缘材料耐压强度和机械强度较高，从国外引进绝缘材料价格昂贵，时间也长。因此，在用国内绝缘材料时遇到许多问题，如：是否可靠、如何代替。事实上，随着我国电动机绝缘

表3-13　60Hz改50Hz重绕计算公式

改频条件		每相串联匝数W_ϕ 或每槽导体数N_{sc}	导线截面积 S_c(mm²)	输出功率P_2(kW) 或电动机转矩(N·m)	同步转速n_1 (r/min)	改频后的电流 I_1(A)
保持电源电压、极数和转矩不变	计算公式	$W_\phi' = W_\phi \frac{f_1}{f_1'}$ 或 $N_{sc}' = N_{sc} \frac{f_1}{f_1'}$	$S_c' = S_c \frac{f_1'}{f_1}$	$P'_2 = P_2 \frac{f_1' \cos\phi' \eta'}{f_1 \cos\phi \eta}$	$n_1' = n_1 \frac{f_1'}{f_1}$	$I_1' = I_1 \frac{f_1'}{f_1}$
	举例： 60Hz 改50Hz时	$W_\phi' = 1.2W_\phi$ 或 $N_{sc}' = 1.2N_{sc}$	$S_c' = 0.83S_c$	$P'_2 = 0.83P_2$ （设η和$\cos\phi$不变）	$n_1' = 0.83n_1$	$I'_1 = 0.83I_1$
保持电源电压、极数和输出功率不变	计算公式	$W_\phi' = W_\phi \sqrt{\frac{f_1}{f_1'}}$ 或 $N_{sc}' = N_{sc} \sqrt{\frac{f_1}{f_1'}}$	$S_c' = S_c \sqrt{\frac{f'_1}{f_1}}$	$M' = \frac{f_1}{f_1'} M \times 10$	$n_1' = n_1 \frac{f_1'}{f_1}$	$I_1' = I_1$
	举例： 60Hz 改50Hz时	$W_\phi' = 1.095W_\phi$ 或 $N_{sc}' = 1.095N_{sc}$	$S_c' = 0.913S_c$	$M' = 1.2M \times 10$	$n_1' = 0.83n_1$	电流基本不变

材料的研制和发展，已有许多绝缘材料可以代用。下面介绍在近几年修理国外电动机积累的许多经验，即介绍怎样选用国产绝缘材料代用的问题。

（1）NOMEX绝缘纸的代用。美国杜邦公司于60年代开发的一种绝缘纸，叫NOMEX，可长期工作在220℃下不老化、不变质，特别是电气强度和机械强度较高，具有耐化学、耐辐射、阻燃、耐酸、耐碱等性能，同时与其他绝缘材料的相容性也好。这种绝缘纸普遍做为电动机的槽绝缘、相间绝缘、引线绝缘及匝间绝缘等等，质量非常优异，但唯一缺点是必需从国外购买，价格昂贵，给修理国外电动机带来很大困难。目前，这种困难不存在了，因为国内已研制出代用品，如上海绝缘材料厂、湖南衡阳绝缘材料厂、嘉兴绝缘材料厂，东方绝缘材料厂等均生产出聚砜酰胺纤维纸，性能与NOMEX纸相近，可以代用。另外，西安绝缘材料厂、哈尔滨绝缘材料厂又研制出聚芳酰胺纤维纸，也可代用。但目前产量不高，成本较高（250元/kg左右），性能较NOMEX还差一些，但做为修理电动机时完全以可代用。这三种绝缘纸性能的比较如表3-14所示。

表3-14　绝缘纸性能比较

比较项目	绝缘纸名称	聚砜纸（上海绝缘材料厂等）	聚芳纸(751)（西安绝缘材料厂等）	NOMEX纸（美国）
抗拉强度（MPa）	纵向	25.6	31.9	117.6
	横向	20	25.4	70.6
温度指数(℃)		220	186	220
电场击穿强度(kV/mm)		18	12.1	20～30
阻燃性能		阻燃	阻燃	阻燃
化学稳定性	甲苯、苯乙烯	稳定	稳定	稳定
	酒精、丙酮	基本稳定	长时间浸泡有影响	稳定
	二甲基乙酰胺	溶解破坏	溶解破坏	稳定
	氟里昂-22	稳定	稳定	稳定

（2）KAPTON纸的代用。美国杜邦公司于60年代开发的绝缘薄膜，商品名称KAPTON，最通用的商品名称为H型KAPTON薄膜。目前，国内研制出聚酰亚胺薄膜完全可以代替之，国内部标JB2726-80，型号6050。

（3）美国H型 KAPTON 薄膜和 NOMEX 绝缘纸复合绝缘的代用。可用国产聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料(NHN)代用，国内部标 JB406-85，型号 6650；也可用国产聚酰亚胺薄膜聚砜酰胺纤维纸柔软复合材料（SHS）代用。

（4）高强度无纬带的代用。国外制造的高强度无纬带可以提高绑扎预应力（2.4MPa），横向拉开呈网状结构，特点是整体性好，易开卷，不散丝，绑扎固化后强度大，质量好。目前，国内已研制出高强度网状无纬带，型号2841-W～2844-4W 的电工用网状无纬带，经实践证明可以代替进口材料。

（5）西德 BECK 公司绝缘漆的代用。此漆特点是烘焙温度低，固化快，经120℃，4h 和150℃，8h后即可固化，固化后强度高，贮存期长、属于H级绝缘。国内H级的有溶剂漆有1053、1054 的硅有机漆和聚酰亚胺浸渍漆，缺点是烘焙时间长，温度高，毒性大，固体含量低，需多次浸渍，很不理想。目前，哈尔滨绝缘材料厂研制和引进技术生产出9116绝缘漆，性能与西德 BECK公司H71绝缘漆相同，可考虑代用。

（6）国外F级漆包线（标号IEC317-10）的代用。可用国产F级聚胺酯漆包线代用，该导线有薄漆层和厚漆层两种，规格范围从ϕ0.063～0.8mm。

（7）适形材料的代用

国外电动机将适形材料应用在线圈端部的线圈边之间隙、线圈与端箍之间、槽内相间、层间、线圈支架等处做为绝缘固定和保护用。可用国产涤纶纤维和玻璃纤维混合编织的毛毡代用。如山东省登州绝缘材料厂出品的 P2933涤纶适形材料，属 B 级热固性绝缘材料，P2943聚砜适形材料，属F级绝缘，密封在塑料袋中在室温下贮存期为 6 个月。

（8）日本东芝公司B、F级通用的中小型电动机线圈浸渍漆的代用。这种绝缘漆的特点是干燥固化条件为130±5℃，15h，可用国产8021桐马环氧F级浸渍漆（W8021聚酰亚胺环氧F级浸渍漆）代用，这种漆价格不高，B、F级通用，可低温干燥(130℃)，贮存期长，适合修理单位使用。

8021桐马环氧F级浸渍漆性能指标如表3-15所示。

表3-15　8021桐马环氧浸渍漆性能指标

序　号	项　目　名　称	性能指标
1	外　观	棕红色透明
2	固体含量(%)	50
3	粘度(4#杯，25℃时)(s)	13～38
4	酸值(KOH)(mg/g)	≯30
5	干燥时间(130～135℃)(min)	60
6	厚层干燥时间(130～135℃)(h)	5
7	温度指数(割线法)(℃)	165
8	电阻率　(Ω·cm) 常态 室温浸水24h 155℃	 $>1\times10^{14}$ $>1\times10^{13}$ $>1\times10^{10}$
9	击穿强度　(kV/mm) 常态 室温浸水　24h 155℃	 >70 >40 >35

〔3-26〕　60Hz电动机使用在50Hz电源上的改造措施有哪些？

答：60 Hz 电动机使用在 50Hz 电源上，电动机转速要降低16.7%。为提高电动机的转速。从公式$n=60f_1/p$看，只有改变和减少电动机的极数。如440 V、60Hz 电动机，10极的同步转速为720 r/min，当接在 50Hz 电源上，希望电动机转速仍处在720 r/min附近，则电动机的极数应取 8 极，这时其同步转速为750

r/min。改极要事先计算，而且要考虑定子和转子的槽配合问题。

$f_1=60\text{Hz}$、440 V 电动机，如果直接使用在 $f_1'=50\text{Hz}$、380 V 电源上，这时磁通密度 B' 基本保持不变，由下式看出：

$$B'=B\frac{f_1}{f_1'}\frac{U'}{U}=\frac{60}{50}\times\frac{380}{440}B=1.036B$$

即磁通密度 B 仅高出 3.6%，可以得到满意的效果。这时电动机的堵转电流约为：

$$I'_{st}=\frac{380}{Z/1.2}=1.036\frac{440}{Z}=1.036I_{st}$$

式中 Z——电动机的堵转阻抗

可见堵转电流也不大。最大转矩和最小转矩可稍高些，但堵转转矩基本保持不变。另外，由于 B' 不变，所以电动机效率、功率因数和温升可基本保持原有水平，空载电流增大一些。输出功率降到原有的86%左右。如果通过调查，这种电动机的实际负载率在86%以下，即可直接把这种电动机使用在 380 V、50Hz 电源上。

利用电机学原理，可以推导出一套实用性较强的改频重绕计算公式，在工程上可以获得足够的准确度。

首先，认为漏电抗 x_K 远远大于电阻 r_1，即 $x_K\gg r_1$，故可得：

$$M_{max}=\frac{m_1pU_1^2}{4\pi f_1x_K}$$

用 $M_{max}=\lambda_mM_N$ 代入上式中，得

$$M_N=\frac{m_1pU^2}{\lambda_m4\pi f_1x_K}$$

式中 M_N——电动机额定转矩（N·m）

λ_m——电动机过载系数。

M_{max}——电动机最大转矩

p——电动机极对数

故可得变更后各参数的关系式为：

$$M'_N=\frac{m_1'p'U_1'^2}{\lambda'_m4\pi f_1'x'_K}$$

两式相除，得：

$$\frac{M'_N}{M_N}=\frac{m_1'}{m_1}\cdot\frac{x_K}{x'_K}\cdot\frac{f_1}{f_1'}\cdot\frac{\lambda_m}{\lambda'_m}\cdot\left(\frac{U_1'}{U_1}\right)^2\frac{p'}{p}$$

在重绕计算过程中，常保持电动机相数和过载能力不变，即 $m_1'=m_1$，$\lambda'_m=\lambda_m$，并考虑电抗与频率和每相串联匝数的关系后，代入上式，可得

$$\frac{M'_N}{M_N}=\left(\frac{U_1'}{U_1}\right)^2\left(\frac{f_1}{f_1'}\right)^2\left(\frac{W_1}{W_1'}\right)^2\left(\frac{p'}{p}\right)$$

上式表示电动机转矩、电压、电源频率、绕组每相串联匝数以及电动机极数之间的关系。这便是改频、改频改压和改频改极的通用表达式。

下面根据几种不同要求，叙述改频重绕计算问题。

（1）恒转矩改频重绕计算：

转矩不变，即 $M'_N=M_N$，从上式可得：

$$W_1'=W_1\frac{U_1'}{U_1}\frac{f_1}{f_1'}\sqrt{\frac{p'}{p}}$$

此式即当电压、频率、极数同时变更时，

电动机绕组每相串联匝数的计算公式。

从上式可获得三种改频计算公式。

① 电动机极数不变，同时改变电源电压和电源频率时的计算公式，即：

$$W_1'=W_1\frac{U_1'}{U_1}\frac{f_1}{f_1'}$$

此式说明，绕组匝数与电源电压成正比，与电源频率成反比。

② 电源电压不变，同时改变电动机极数和电源频率时的计算公式：

$$W_1'=W_1\frac{f_1}{f_1'}\sqrt{\frac{p'}{p}}$$

此式说明，绕组匝数与电源频率成反比，与极对数的平方根成正比。

③ 电源电压和电动机的极数均不变，只改变电源频率时的

计算公式：

$$W_1' = W_1 \frac{f_1}{f_1'}$$

此式说明，绕组匝数与电源频率成反比。

（2）恒功率改频重绕计算：

由于功率不变，所以 $\frac{2\pi f_1'}{p'} M_N' = \frac{2\pi f_1}{p} M_N' =$ 常数，将此式代入上式，得：

$$W_1' = W_1 \left(\frac{U_1'}{U_1}\right) \sqrt{\frac{f_1}{f_1'}}$$

此式表明，当电动机功率保持不变时，电动机的绕组匝数、电源电压及电源频率之间的关系。由此式可得出下列三种改频重绕计算公式：

①　同时改变电源频率和电源电压时的绕组匝数为：

$$W_1' = W_1 \left(\frac{U_1'}{U_1}\right) \sqrt{\frac{f_1}{f_1'}}$$

此式说明，绕组匝数与电源电压成正比，与电源频率的平方根成反比。

②　电源电压保持不变，只改变电源频率时的绕组匝数为：

$$W_1' = W_1 \sqrt{\frac{f_1}{f_1'}}$$

此式说明，绕组匝数与电源频率的平方根成反比。

③　电源频率保持不变，只改变电源。

〔3-27〕　国产50Hz电动机使用到国外 60Hz 电源时，电动机性能会有哪些变化？

答：国内标准电动机电压380 V、50Hz，而国外电源电压为440 V或460 V，60Hz。如将国产电动机使用在国外电源时，电动机性能将发生以下变化。

（1）电动机同步转速 n_1 的变化。已知 $n_1 = 120f/2p$，当电动机极数 $2p$ 不变时，电动机同步转速 n_1 与电源频率 f 成正比例变化。表 3-16 列出三相异步电动机在 60Hz 和 50Hz 电源下

同步转速的差别。

从表3-16可看出，电动机极数越多，60Hz和50Hz的电动机的同步转速差别越小，即直接使用不同电源的可能性越大。

表3-16 同步转速上升情况

电动机极数	50Hz时电动机的同步转速(r/min)	用在60Hz电源时同步转速(r/rmin)	转速上升值(r/min)
2	3000	3600	600
4	1500	1800	300
6	1000	1200	200
8	750	900	150
10	600	720	120
12	500	600	100
14	428	514	86
16	375	450	75
18	333	400	67
20	300	360	60

在各种极数下，电动机的同步转速均提高16.7%，由于电动机转速的提高，要考虑电动机轴承寿命、转轴强度以及转子绕组绑扎固定等问题。

（2）机械损耗P_j的变化。中小型电动机的机械损耗与电动机转速平方成正比，也就是与频率的平方成正比，所以50Hz电动机用在60Hz电源上时，其机械损耗增为$P'_j = (f'/f)^2 \times 100\% = (60/50)^2 \times 100\% = 144\%$，即增大44%。如果是2极电动机，其提高值相当可观，要考虑电动机效率的降低，温升的提高，且必须校核转子强度。转子圆周速度为：

$$v_2 = \pi D_2 n_2 / 60 \cdot 1000 \ (\mathrm{m/s})$$

式中 D_2——转子外径（m）

n_2——转子转速（r/min）

当频率从50Hz变到60Hz时，转子速度v_2增加20%：

$$v'_2 = v_2 \frac{f'}{f} \times 100\% = v_2 \frac{6000}{50}\% = 120\% v_2$$

笼型电动机要求 v_2 在40～60m/s 范围内，绕线转子电动机要求 v_2 在 30～40 m/s 范围内，否则转子强度不足，会引起转子 变形或破坏事故。

（3）电动机转矩的变化

额定转矩M_N的变化：

已知 $M'_N = M_N \dfrac{p'/n_2}{p/n_2}$

式中 M_N、M'_N ——改变频率前后的电动机额定转矩(N·m)

p、p' ——改变频率前后的电动机的极对数

n、n' ——改变频率前后的电动机转速（r/min）

当极数不变（即 $p' = p$）时，则电动机额定转矩降到原来的83%：

$$M'_N = \frac{n_2}{n'_2} M_N = \frac{f}{f'} M_N = \frac{50}{60} M_N$$

如果视电动机最大转矩M_{max}和堵转转矩 M_{st} 与磁通密度平方成正比时，则M_{max}和M_{st}均降到原来的 $(0.965/1.0)^2 \times 100\% = 93\%$，即降低 7 %左右。

（4）电动机风扇风量和热阻的变化。电动机转速与频率成正比，电动机风扇的风量又与转速成正比，因此，风扇风量与频率成正比。当 50Hz 电动机使用在 60Hz 电源上时，电动机冷却风扇的风量要提高到（60/50）×100 % = 120 %，即风量增加20 %，这对电动机散热是有利的。

电动机在运行时，其内部各种损耗要变成热能散发出去，在散发过程中要遇到热阻 R_θ，热阻与散热的风量成反比例，即与频率成反比例：

$$R'_\theta \propto \frac{1}{f'}, \quad R_\theta \propto \frac{1}{f}$$

式中 R'_θ、R_θ——分别表示60Hz和50Hz电动机的热阻

f'、f——分别表示60Hz和50Hz电动机的频率

因此 $R'_\theta / R_\theta = \dfrac{1/f'}{1/f} \times 100\% = \dfrac{50}{60} \times 100\% = 83\%$

即电动机的热阻降为原来的83%，对电动机散热有利。

（5）磁通密度的变化。对于绕组匝数为 W 的三相异步电动机，接入电源电压 U 后，在绕组内会感应出电势 e：

$$e=-W\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}t}$$

为了定性分析，不考虑绕组的电阻压降和漏抗压降，则外施电压 $U=e$。因此得出每极磁通 ϕ 为：

$$\phi=-\frac{1}{W}\int e\mathrm{d}t,\quad 又\ e=U_m\sin(\omega t+\varphi)$$

则 $$\phi=-\frac{1}{W}\int U_m\sin(\omega t+\varphi)\ \mathrm{d}t$$

$$=-\frac{1}{W}\int U_m\sin(2\pi f t+\varphi)\mathrm{d}t$$

$$=\frac{1}{2\pi W}\ \frac{U_m}{f}\cos(2\pi f t+\varphi)$$

$$=\phi_m\cos(\omega t+\varphi)$$

磁通最大值 $$\phi_m=\frac{1}{2\pi W}\ \frac{U_m}{f}$$

设每极磁通面积为 S_{Fe}，则磁通密度最大值 B_{max} 为：

$$B_{max}=\frac{\phi_m}{S_{Fe}}=\frac{1}{S_{Fe}}\left(\frac{1}{2\pi W}\ \frac{U_m}{f}\right)=K_1\frac{U_m}{f}$$

式中 K_1 为常数，$K_1=\dfrac{1}{S_{Fe}2\pi W}$

50Hz 电动机在 60Hz 电源上运行时，当 $U'_m=U_m$，B_{max} 降低 17%：

$$\frac{B'_{max}}{B_{max}}=\frac{K'_1U_m'f'}{K_1U_m/f}=\frac{50}{60}=0.83$$

当 $U'_m=U_m$，即 $U'_m=440\,\mathrm{V}$，$U_m=380\,\mathrm{V}$ 时，则：

$$B'_{max}=B_{max}\frac{440/60}{380/50}=1.036B_{max}$$

上式说明电动机在两种频率和电压的电源下工作最大磁通密度只增加3.6%，几乎不变。由于 B_{max} 变化不大，所以空载电流

I_0变化不大。但是，如果电压值不改变，那么由于B_{max}降低17%，电动机堵转转矩要降到原来的$(50/60)^2\times100\%=69\%$，即降低31%，对于重载起动的负载要考虑是否允许使用。

（6）铁损耗的变化。电动机铁损耗包括磁滞损耗和涡流损耗，分别分析如下。

① 磁滞损耗：$P_s=K_2fB_{max}^{1.6}$，K_2为常数，

将$B_{max}=K_1(U_m/f)$关系代入此式，得：

$$P_s=K_2f\left(K_1\frac{U_m}{f}\right)^{1.6}=K_2K_1^{1.6}\frac{U_m^{1.6}}{f^{0.6}}$$

$$=K_3\frac{U_m^{1.6}}{f^{0.6}}$$

式中 K_3为常数，$K_3=K_2K_1^{1.6}$，所以有：

$$\frac{P_s'}{P_s}=\frac{K_3\dfrac{U_m'^{1.6}}{f'^{0.6}}}{K_3\dfrac{U^{1.6}}{f^{0.6}}}$$

$$=\left(\frac{U_m'}{U_m}\right)^{1.6}\left(\frac{f}{f'}\right)^{0.6}$$

当50Hz、380V电动机用在60Hz、440V电源上时，则磁滞损耗增大13%：

$$P_s'=P_s\left(\frac{440}{380}\right)^{1.6}\left(\frac{50}{60}\right)^{0.6}=1.13P_s$$

如果电源电压不变，仍为380V，则磁滞损耗可降低10.6%：

$$P_s'=P_s\left(\frac{f}{f'}\right)^{0.6}=\left(\frac{50}{60}\right)^{0.6}P_s=0.894P_s$$

② 涡流损耗P_W：

$$P_W=\frac{1}{K_4}\left(\frac{U_m}{K_pW}\right)^2$$

此式中参数均为常数，故P_W与频率f无关。

（7）电动机温升的变化。电动机温升$\Delta\theta=\Sigma PR_\theta$

式中 ΣP——电动机总损耗，包括铁耗P_{Fe}、机械损耗P_f、铜耗P_{Cu}、附加损耗P_f，如果不考虑P_f，则

$$\Sigma P = P_{Fe} + P_{Cu} + P_j$$

R_θ——电动机总热阻

如前述 P_{Fe} 增大13%，P_j 增大44%，P_{Cu} 随 I_0 增大略有增加，而 I_0 又随磁通密度的增大（增大3.6%）有所增加，可认为 $\Sigma P'$ 比 ΣP 增大约16%，因此有：

$$\frac{\Delta\theta'}{\Delta\theta} = \frac{\Sigma P' R'_\theta}{\Sigma P R_\theta} = \frac{146\%}{100\%} \times \frac{1/60}{1/50} = 1.2$$

即50Hz、380V电动机使用在60Hz、440V电源上，电动机温升将增加1.2倍。

（8）电动机输出功率 P_2：

$$P_2 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos\varphi \eta$$

式中 U_1——电动机线电压（V）

I_1——电动机线电流（A）

$\cos\varphi$——功率因数

η——电动机效率

电动机最高允许温升 $\Delta\theta_{max} = \Sigma P_m R_\theta = (P_{Fem} + P_{Cum} + P_{jm} + P_{im}) R_\theta$，式中脚标“m”均表示最大值。

希望380V、50Hz电动机使用在440V、60Hz电源上时，允许温升相同，即 $\Delta\theta'_{max} = \Delta\theta_{max}$，即：

$$\frac{\Delta\theta'_{max}}{\Delta\theta_{max}} = \frac{(P'_{Fem} + P'_{Cum} + P'_{jm}) R'_\theta}{(P_{Fem} + P_{Cum} + P_{jm}) R_\theta} = 1$$

式中略去 P_{fo}。这时铜耗（P'_{Cum}）为：

$$P'_{Cum} = \frac{R_\theta}{R'_\theta} (P_{Cum} + P_{Fem} + P_{jm}) - (P'_{Fem} + P'_{jm})$$

最大效率时 $P'_{Cum} + P'_{jm} = P_{Cum}$，又 $P_{Fem} + P_{im}$ 必须与 $P'_{Fem} + P'_{jm}$ 保持不变，因为不这样，$\Delta\theta'_{max} \neq \Delta\theta_{max}$，于是：

$$P'_{Cum} = \frac{f'}{f} (P_{Cum} + P_{Cum}) - P_{Cum}$$

$$= \left(\frac{2f'}{f} - 1\right) P_{Cum}$$

当50Hz电动机用在60Hz电源上时，$P'_{Cu} = 1.4 P_{Cu}$；反之，

60Hz 电动机使用在 50Hz 电源上时，$P'_{Cu}=0.667P_{Cu}$。

又知电动机铜耗$P_{Cum}=I^2_1 r$，即

$$I_1=\sqrt{(P_{Cum}/r)}$$

式中 r——定子电阻加上折合到定子边的转子电阻

I_1——定子线电流（A）

所以

$$P_2=\sqrt{3}U_1\left(\sqrt{\frac{P_{Cum}}{r}}\right)\eta\cos\varphi$$

$$=K_5U_1\sqrt{P'_{Cum}}$$

即

$$\frac{P'_2}{P_2}=\frac{K'_5}{K_5}\frac{U_1'}{U_1}\frac{\sqrt{P'_{Cum}}}{\sqrt{P_{Cum}}}$$

式中 $K_5=\sqrt{3}\cos\varphi\eta\sqrt{\frac{1}{r}}$

K_5可视为常数。因此，当 50Hz、380V 电动机投入到60Hz、440V电源时，由上式知：

$$P'_2=P_2\frac{U_1'}{U_1}\sqrt{\frac{P'_{Cum}}{P_{Cum}}}=\frac{440}{380}\sqrt{1.4}P_2=1.37P_2$$

即电动机容量有可能增加37%。当电压不变时，则$P'_2=\sqrt{1.4}P_2=1.18P_2$，电动机容量有可能增加18%。

以上定性和定量分析的结论是在许多假定条件下得出的，可供修理时参考。

〔3-28〕 修理国外高压电动机绕组时，要采取哪些改进措施？

答：近代国外高压交流电动机绝缘结构均采取减薄绝缘结构，如日本安川电动机单边绝缘厚度如下。

3kV：连续绝缘 0.98mm （卷包绝缘0.89mm）

6kV：连续绝缘 1.66mm （卷包绝缘1.3mm）

10kV：连续绝缘 2.4～2.7mm （卷包绝缘2.2mm）

13.2kV：连续绝缘 3.3mm

法国阿尔斯通公司有个计算公式：$\delta=0.22(U_N+1)$

式中 δ——线圈单边对地绝缘厚度（mm）

U_N——电动机额定电压（kV）

按此公式计算出线圈单边绝缘厚度 δ 如下。

3kV：δ=0.88mm（实测BBC电动机1.0mm）

6kV：δ=1.54mm（实测日本富士电动机1.5mm）

10kV：δ=2.4 mm

国内高压电动机绝缘厚度较厚，以前采用沥青胶真空浸胶的A级高压电动机，对于6kV电动机单边绝缘厚度为3mm，后来改进为2.7mm，有了粉云母带以后，由A级上升到E、B级，单边绝缘厚度为2.2～2.6mm，目前最薄已达到1.8mm，但跟国外5kV的电动机比较还是较厚。这给修理国外电动机带来困难，有的修理单位采取减小导线截面积降低电动机容量办法来增厚原绝缘，以保证国外电动机电压的要求，当然对于允许降低容量情况的场合可以考虑，但这总不是个好办法。

其次是国外采取真空压力整浸处理工艺（V·P·I工艺）。这对一般修理单位是没有这套庞大设备的。目前，修理单位普遍使用模压办法。模压工艺也有其优点，比如设备投资少、使用的绝缘漆少（V·P·I设备需用10～20 t 漆），但缺点制造线圈效率低，周期长，工序多，最大缺点是整体性不好，影响线圈耐压、散热、防潮等，但如果不考虑制造线圈的效率、周期长等缺点（因为修理单台电动机，不是大批制造），只剩下线圈整体性问题。这个问题要靠采取国产优质绝缘材料和精心操作来解决。

为了用国产绝缘材料和简易设备修理国外高压电动机，在选择材料上要非常细心，比如：

（1）选用漆包扁铜线，不要用绝缘厚度较厚的双玻璃丝包线。因为前者漆膜较薄，双边厚度仅0.12～0.14mm。

（2）用卷包工艺代替连续绝缘结构。如国外6kV级电动机连续绝缘的单边厚度为1.66mm，而卷包为1.3mm，少0.36mm，国内6kV级单边厚度1.8mm，改用滚包时为1.44mm，比国外连续绝缘1.66mm要小0.22mm，显然可以嵌入槽内，不必再减少导线截面积降低容量使用了。

（3）选用国内研制的新绝缘材料，比如云母带，选用含云母

量高单面补强形式的云母带，对于绝缘材料要选用薄膜补强的复合材料，这种绝缘材料电气强度和机械强度均高，比用玻璃布做底材的绝缘材料击穿电压也要高。

下面介绍采用国产绝缘材料修复国外电动机的绝缘结构。

（1）国外6kV连续绝缘结构，单边1.66mm，改用滚包绝缘结构：直线部分用国产材料，0.14mm玻璃布聚酯薄膜环氧粉云母箔卷包9层，再用0.1×25mm无碱玻璃丝带平包一层；端部半叠5层0.14×25mm环氧粉云母带，再半叠包一层0.1×25mm无碱玻璃丝带。这样单边厚度为1.5mm可代替原来的1.66mm绝缘厚度。

（2）国外低压F级绝缘电动机，采用国产绝缘材料，其绝缘结构如下。

① 导线：QZY聚酯亚胺漆包圆铜线。

② 槽绝缘：0.2mm NMN复合绝缘纸一层，0.24mm聚酯薄膜两层。

③ 匝间绝缘：0.2mm NMN绝缘纸一层，0.15mm 241玻璃漆布两层。

④ 层间绝缘：0.2mm NMN绝缘纸一层。

⑤ 套管：2751硅橡胶玻璃漆管。

⑥ 引出线：硅有机电动机引出线。

⑦ 槽楔：3240层压板。

⑧ 绝缘漆：8021桐马F级绝缘漆。

〔3-29〕 电动机修理时欲使电动机增容都有哪些措施？

答：

（1）电动机输出功率P_N可用下式表达。

$$P_N=\frac{\eta_N A\tau}{0.24(1-\eta_N)}$$

式中 η_N——电动机效率

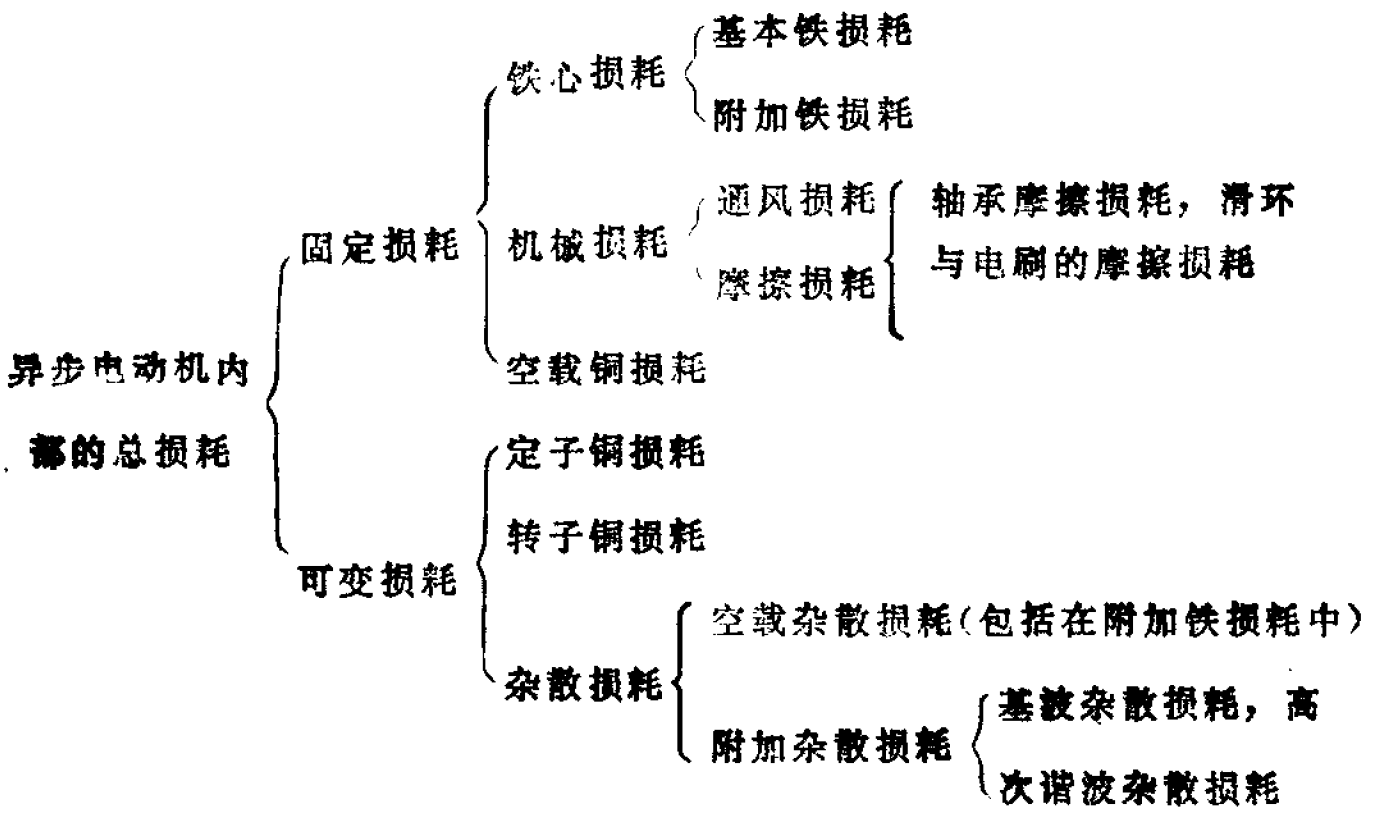
A——电动机散热系数

τ——绝缘材料允许温升

从此式看出，欲提高电动机容量，使电动机功率增大，可使

η_N、A、τ 提高。欲提高电动机效率，就要降低电动机的各种损耗，异步电动机的总损耗如表3-17所示。

表 3-17



电动机修理时，降低这些损耗的措施如表3-18所示。以铜代铝，保持原线圈导线截面积不变或适当增大，则可提高电动机容量20％～30％。

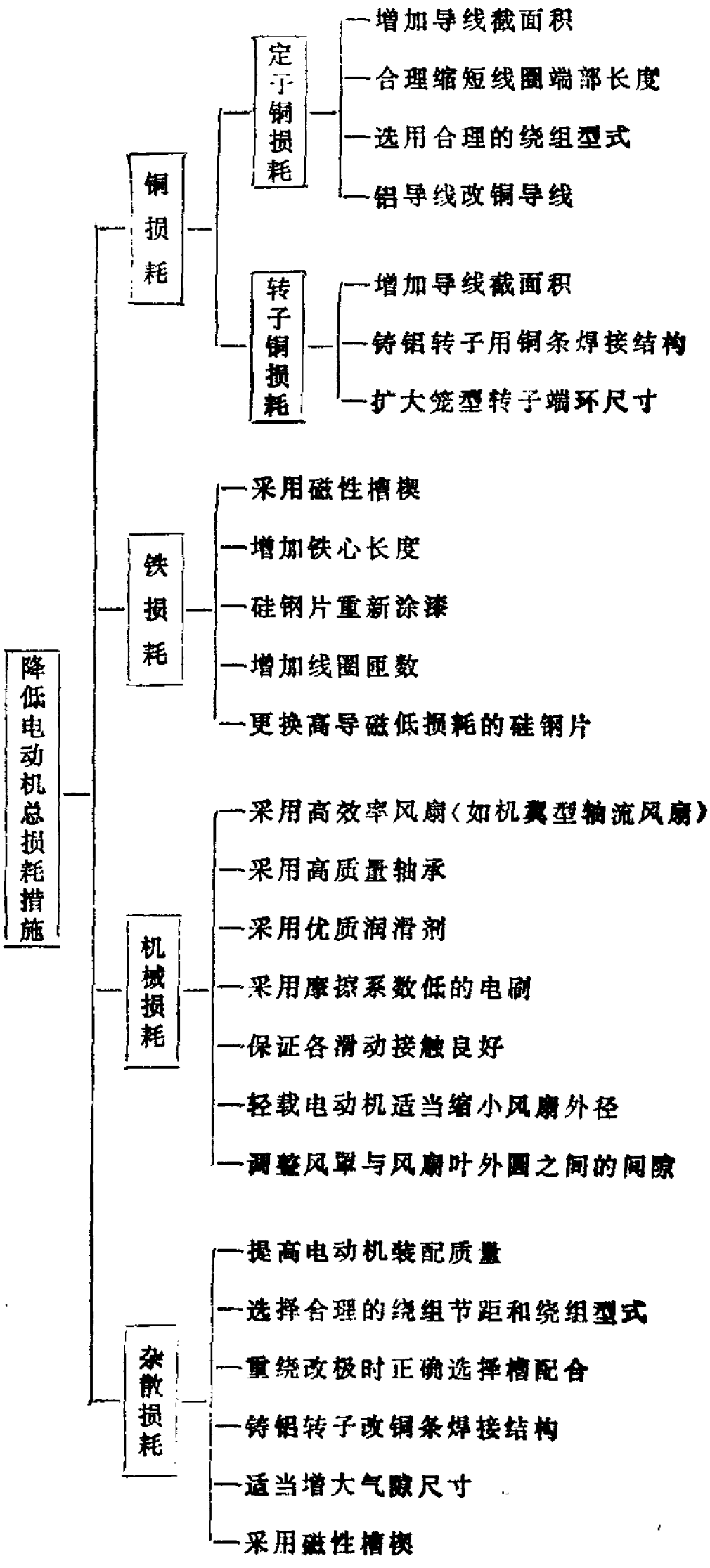
铝转子更改为铜笼，则电动机容量可提高5％～10％。

高压线圈将连续绝缘方式改为滚包绝缘方式，从而增加导线截面积，则电动机容量可提高20％左右。

（2）提高电动机散热系数A。为了提高电动机散热系数，可采用高效率风扇，比如机翼型轴流风扇，效率较高；合理改进通风系统；加强冷却，将自然通风改为强迫通风；外加独立风扇；改变电动机型式，如封闭式改开启式（如果外界环境允许时）。

（3）提高绝缘材料允许温度τ。电动机功率是受绝缘材料所允许的最高温度和环境温度限制的，一般环境温度规定为40℃，所以，电动机功率大小取决于所使用的绝缘材料的绝缘等级。一般分为6种：A级绝缘材料最高允许温度为105℃，E级绝缘材料最高允许温度为120℃，B级绝缘材料最高允许温度为130℃，F级绝缘材料最高允许温度为155℃，H级绝缘材料最高允许温度为180℃，C级绝缘材料最高允许温度为180℃以上。

表 3-18


降低电动机总损耗措施
铜损耗
定子铜损耗
增加导线截面积
合理缩短线圈端部长度
选用合理的绕组型式
铝导线改铜导线
转子铜损耗
增加导线截面积
铸铝转子用铜条焊接结构
扩大笼型转子端环尺寸
铁损耗
采用磁性槽楔
增加铁心长度
硅钢片重新涂漆
增加线圈匝数
更换高导磁低损耗的硅钢片
机械损耗
采用高效率风扇(如机翼型轴流风扇)
采用高质量轴承
采用优质润滑剂
采用摩擦系数低的电刷
保证各滑动接触良好
轻载电动机适当缩小风扇外径
调整风罩与风扇叶外圆之间的间隙
杂散损耗
提高电动机装配质量
选择合理的绕组节距和绕组型式
重绕改极时正确选择槽配合
铸铝转子改铜条焊接结构
适当增大气隙尺寸
采用磁性槽楔

将A级绝缘电动机改为B级绝缘等级，则电动机容量增加11%；将B级绝缘电动机改为F级绝缘等级时，电动机容量增加11%左右。

在改造时要同时考虑电动机的起动性能和过载能力是否变化。

〔3-30〕 为了应急采取甩线圈办法应考虑哪些技术问题？如何进行计算？

答：为了应急处理，采取甩线圈修理法在修理单位经常碰到。当电动机发生1只或几只线圈断路、短路、接地等故障，为了减少停机大修时间，往往采取将有故障的少数线圈甩掉不用，让电动机经短时间处理后继续运行，这种应急办法，叫甩线圈修理法。

为了保证电动机甩去线圈后能正常使用，要注意以下几个技术问题。

（1）甩掉线圈后，要使三相绕组电势平衡。为此，要使三相绕组中每相绕组线圈数目相同。比如U相第一线圈产生故障，将其剪断不用，将其相邻的好线圈连接在一起，这时为了三相电势平衡，也必需将V相和W相相对应位置的无故障的线圈也剪掉不用。如果三相绕组是多路并联的，要求各并联支路内线圈数目相同，比如二路并联的三相绕组，其中U相某一支路线圈发生故障要甩掉，那么其余的5个支路中所对应的好线圈也要甩掉，以达到各并联支路中线圈个数相同，并且甩掉的线圈在空间位置相同。

（2）要降低电动机输出功率。因为甩去线圈后，每相绕组匝数减少，当电源电压不变时，电动机气隙磁通密度要增加，与磁通密度平方成正比的铁损耗增加，空载电流和负载电流增大，引起铜损耗增加，使电动机总损耗增大，所以这时电动机仍处于额定功率下运行时，电动机要发热，因此，要降低负载使用。但是，如果电动机一直在低于额定值情况下使用，有可能不会出现温升增高的问题。另外一种情况，假若负载机械要求电动机必须

在额定输出功率下使用，则不允许甩线圈，所以不能采取这种应急办法

（3）断开的故障线圈端部要包好绝缘，并且要切断导线连接，以免在线圈内部产生涡流。

通过上述分析，可见在采取甩线圈修理电动机绕组之前，应考虑下列问题。

① 电动机经甩线圈后，能否继续正常使用。

② 甩线圈后的电动机电流应控制多大才能保证电动机温升不超限，正常运行。

③ 如果生产机械允许电动机甩线圈后降低输出功率，那么到底允许降低到什么程度。

为了回答上面一些问题，我们假设电动机经甩线圈修理后的最大负载电流为I_{max}，只要计算出来的$I_{max}<I_N$(铭牌额定电流)，就可以采用甩线圈法修理电动机。另外，设电动机未甩线圈之前，电动机定子电流为I_1。这个I_1往往是小于I_N的，即$I_1<I_N$。满足这个条件，就有可能保证甩线圈后的电动机正常使用。下面用例子说明。

例1：一台JS117-4型三相异步电动机，150kW，额定电压3 kV，额定电流36A。已知每相导线数24，定子槽数48，双层绕组，并联路数为1，空载电流为10A，有一只线圈对地击穿。为了应急生产，欲甩掉此故障线圈。问经甩掉线圈修理后的电动机的空载电流为多少？并确定经甩线圈后最大负载电流I_{max}是多大？已知此台电动机是运行在满载情况下，实际定子电流I_1等于额定电流I_N，那么甩线圈后电动机负载电流将要超过额定电流，问超过多少？在不超额定电流的条件下，如果负载电流I_2控制在35A左右，问定子电流I_1应是多少？

解：已知电动机绕组为双层绕组，所以线圈总数等于电动机槽数或齿数，因此每相的线圈只数为$\frac{48}{3}=16$只，现在欲甩去一只线圈，因此只剩下15只，则甩后的电动机空载电流I_{02}为

$$I_{02}=1.15\left(\frac{16}{15}\right)^2\times 10=13.08\text{A}$$

已知电动机实际定子电流I_1为36A，所以负载电流 I_{max}为：

$$I_{max}=\sqrt{(I_1^2-I_{01}^2)+I_{02}^2}=\sqrt{(36^2-10^2)+13.08^2}$$

$$=36.97\ (\text{A})$$

（已知$I_N=36\text{A}$）

可见，甩线圈后最大负载电流大于电动机额定电流。为了使用这台电动机，被迫要降低输出功率，即降低负载电流I_2，比如I_2降低到35A，这时电动机定子电流I_1为：

$$I_1=\sqrt{I_2^2+I_{01}^2-I_{02}^2}=\sqrt{35^2+10^2-13.08^2}$$

$$=33.96\ (\text{A})$$

因此，电动机在运行时，只要控制定子电流不超过34A，那么就可以保证最大负载电流在额定电流限度内，也就是保证电动机不发热，能够正常运行。

例2：一台JS115-6型三相异步电动机，75kW，额定电压380V，额定电流140A，每槽导线数为12，三路并联，空载电流为36A，定子槽数为72，实测定子电流I_1为120A。现发现有一个线圈接地，欲采用甩线圈办法修复，问修理后空载电流是多少？电动机经甩线圈后能否带动原负载继续正常运行？

解：由于定子绕组是双层绕组，所以每相线圈数等于72/3=24个，但每相是三路并联，因此，每相每个并联支路的线圈数为24/3=8个，甩掉一个剩7个，所以甩线圈后的空载电流为：

$$I_{02}=1.15\left(\frac{8}{7}\right)^2\times 36=54.07\ (\text{A})$$

在甩线圈时，为了使各支路平衡，要使每相每支路都甩去一个线圈，所以三相绕组共甩去9个线圈，并且要求在定子内圆对应的部位甩线圈，以防各支路不对称，产生循环电流和烧毁电动机。

甩线圈后的最大负载电流I_{max}为：

$$I_{max}=\sqrt{(I_1^2-I_{02}^2)+I_{01}^2}=\sqrt{(120^2-36^2)+54.07^2}$$
$$=126.6(A)$$

由于计算出的I_{2max}比额定电流小，所以电动机甩线圈后能正常运行。

对于并联路数为1的电动机绕组（见例1），在甩某相线圈时，另外两相的相应的线圈可以不甩掉。实践表明，这种作法对电动机运行没有明显影响，在甩掉的线圈（即切断的线圈）要将切断处用绝缘包扎好（不切断故障线圈的端部不用包扎），因为短路线圈匝间还会感应电势形成环流。

实例，一台JSQ1512-10型520kW三相异步电动机，额定电压3kV，额定电流130A，定子绕组两路并联，90槽，有两个线圈对地击穿，采取甩线圈修理法，经修理后，投入运行，其电动机运行正常。

〔3-31〕 用圆铜线修复扁铝线绕组时，如何进行操作和计算？

答：在修理扁铝线绕制的电动机时，由于铝线焊接困难，不能保证质量，或者因一时找不到合适的扁铝线时，为了急于修复，修理单位往往是采用圆铜线代用。圆铜电磁线线径与扁铝导线截面积关系为：

$$d_{铜}=\sqrt{\frac{(0.76\sim0.8)S_{扁}}{n}}\ (mm)$$

式中 $d_{铜}$——一根圆铜导线裸直径（mm），按上式计算出来的导线直径后，查标准电磁线规格表，选出导线的标准直径

$S_{扁}$——原扁铝导线的截面积（mm^2）

n——圆铜导线的并绕根数

0.76～0.8——计算系数。原槽满率高时选小值，反之选大值

如果原绕组是圆铝导线，则可按下式算出圆铜导线的线径$d_{铜}$：

$$d_{铜}=0.8d_{铝}\ (mm)$$

计算出圆铜导线线径$d_{铜}$后，还要查圆电磁线规格表，从中找出标准的线径。

例： 有一台JO2L-62-8型铝线三相异步电动机，10kW，2△接法，定子线圈采用1-ϕ1.50圆铝线绕制，现想改用圆铜导线代替，问代用导线的线径应是多少？

解： $$d_{铜}=0.8d_{铝}=0.8\times1.5=1.2\ (mm)$$

即用1-ϕ1.20mm圆铜线代用即可。

用圆铜导线局部更换扁铝线绕组的修理操作如下。

首先将定子绕组均匀加热至100～120℃；然后用按66:34比例配成的酒精和甲苯混合液，做成混合溶液，用抹布浸满混合溶液盖在欲拆除的线圈表面上；待过1 h左右，趁线圈软化，便可将故障线圈拆除掉；最后清理槽绝缘、绕制铜线的线圈，在相应拆下的故障线圈的位置上，嵌入新绕制的线圈。铜铝线接头焊接方法：先用气焊将圆铜线头进行搪锡，搪锡长度为30～50mm。并将铝导线线头擦拭干净，涂上XH432型铝焊粉；然后将铜铝两根导线头搭在一起，用搪过锡的圆铜导线将这两根导线头捆紧捆好；最后用中性火焰进行焊接，使焊接点形成坚实的整体。

〔3-32〕 怎样提高电动机绕组绝缘耐温性能？

答： 在生产当中有些电动机是处于高温环境下运行的，如轧钢车间的辊道电动机是在高达几千度的钢坯附近运行，电动机外壳温度达百度，因此要求这类电动机要有较高的耐温性能。但由于选型不当采用一般电动机在这样恶劣环境下运行，电动机绝缘寿命极短，给生产带来很大威胁。但是，如果在修理电动机进行重绕时，采用耐高温的绝缘材质和绝缘结构，就可以通过提高绝缘的耐高温性能，大大延长电动机使用寿命。这样尽管电动机处于100℃左右的恶劣环境下，也能保证正常使用。下面介绍这种绝缘结构和施工措施。

（1）电磁线可选用能在200℃高温下长期正常使用的聚酰亚胺漆包圆铜线。

（2）槽绝缘的选择。对于小型电动机，可以采用两层0.5mm

厚的聚酰亚胺玻璃漆布中间夹一层0.06mm厚的聚酰亚胺薄膜。它们既具有良好的电气性能和机械性能，又具有耐有机溶剂性能和热稳定性。

（3）选用耐高温的引线和电缆。这类引线和电缆内部是采用聚酰亚胺薄膜和无碱玻璃丝带以及石棉带之类，并浸以1152硅有机绝缘漆，因此具有较高的耐高温的抗腐蚀性能。

（4）垫根可以选用厚度为2.5～3 mm的聚酰亚胺玻璃布层压板。

（5）浸渍漆可选用聚酰亚胺浸渍漆。它具有良好的电气、机械性能和耐寒性、耐高温性能。这种绝缘漆在10～15℃下可保存3个月。

由于电动机绕组在烘干过程中要进行缩聚反应，生成聚酰亚胺漆膜，同时又由于聚酰亚胺浸渍漆的粘度高而固体含量低，所以宜采用真空压力浸渍和真空干燥逐渐升温的干燥工艺。采用聚酰亚胺浸渍漆烘干工艺，如表3-19所示。

表3-19　聚酰亚胺浸渍漆烘干工艺表

序号	工序名称	工作时间	工作温度(℃)
1	预　　热	3h	200
2	第一次真空压力浸漆	真空浸漆10min	室　　温
		压力浸漆 20min	室　　温
3	滴漆(在空气中)	15min	室　　温
4	第一次真空干燥	3 h	70
		3 h	90
		2h	110
		2 h	130
		2 h	150
		1 h	180

续表

序号	工序名称	工作时间	工作温度(℃)
5	第二次真空压力浸漆	真空浸漆 5 min	室　温
		压力浸漆25min	室　温
6	第二次滴漆	15min	室　温
7	第二次真空干燥	同第一次	同第一次
8	第三次普通浸漆	5 min	室　温
9	第三次滴漆	15min	室　温
10	第三次真空干燥	20min	70
		20min	90
		1 h	110
		1 h	130
		1 h	150
		1 h	180
11	高温处理	2 h	250～300

〔3-33〕 改接绕组解决负载率低时，如何进行计算？

答：轻载或空载运行的电动机，利用改接绕组来适应负载需要，是提高电动机运行效率和功率因数行之有效的措施。

轻载或空载时，△接法改丫接法所节省的有功功率为空载总损耗的15%～65%。极数越多，节电效果越好，同时也提高了功率因数。也可将△接绕组改接成延边三角形⊿接法，通常是采用抽头为1:1的⊿接法。

△接绕组改成⊿接和丫接后，适合它们的电源线电压关系如下：

$$\triangle : \text{⊿} : \text{丫} = 1 : 1.3 : \sqrt{3}$$

比如△接线的线电压为380V，则⊿接时为495V，丫接时为658V。

而它们所适应的相电压为：

$$\triangle : \curlywedge : \curlyvee = 380\,V : 292\,V : 220\,V$$

改接后铁损耗分别降为（令△接时为100W）、

$$\triangle : \curlywedge : \curlyvee = 100W : 59W : 33.3W$$

改接后电源电压不变，所以每相匝数的增加使气隙磁通密度降低，电动机容量下降，铁损降低，空载电流也降低，使功率因数和效率提高。

例：100kW 三相异步电动机，定子绕组由△接改成抽头为1:1的△接法，使其容量降至 53kW 左右，以适应实际负载为40 kW 的需要。原绕组设为 2 △接线，试分析经济性和改装计算。

解：改接后电动机运行效率由原来的75%上升至86%。电动机从电网吸收的输入功率P_1'为：

$$P_1' = \frac{P_2}{\eta'} = \frac{40}{0.75} = 53.3\ (kW)$$

但经过改接后电网吸收的输入功率P_1为：

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{40}{0.86} = 46.5\ (kW)$$

则改接后电动机节省的输入功率ΔP为：

$$\Delta P = P_1' - P_1 = 53.3 - 46.5 = 6.8\ (kW)$$

一年运行时间为 5000 h，电费价格 0.075 元/(kW·h)，则每年节省电费为：

$$6.8 \times 5000 \times 0.075 = 2550\ (元/年)$$

改接计算：100kW、△接法、380V、158A三相异步电动机，改接抽头为1:1的△接法，并使并联路数不变。查表3-9得到电压比值$u\% = 1.364$，则改接后的新电压

$$U_1' = U \times u\% = 380 \times 1.364 = 518\ (V)$$

改后电动机输出功率估算：

$$P_2' = \left(\frac{U_1}{U_1'}\right)^2 = \left(\frac{380}{518}\right)^2 \times 100 = 53\ (kW)$$

〔3-34〕 怎样提高高压电动机绕组的起始电晕电压？

答：一般情况下，海拔 1000m 以下的 6 kV 电动机可以不作

防晕处理。但在检修当中常发现有的6 kV级电动机绕组也会因电晕作用而造成线圈绝缘老化、松散和腐蚀、甚至被击穿。

（1）通过检修发现绕组产生电晕的原因：

① 线圈对地绝缘采用粉云母带热压结构，未经真空浸漆处理。嵌线时，线圈与铁槽必须有一定的工艺间隙，此间隙在高压电场作用下，间隙中的空气被电离，放出一定能量，腐蚀线圈绝缘，造成绝缘表面麻点。

② 曾经做过防晕处理的线圈。由于运行时间长，防晕层被剥落，不起防晕作用。

（2）绕组发生电晕的部位：

① 绕组出槽口处。

② 定子铁心通风沟处。

③ 线圈直线部分与铁槽之间的气隙部位。

④ 线圈绝缘表面与定子铁心间的空隙内。

⑤ 线圈端部与绑环和支架处。

（3）绕组发生电晕的处理措施：

① 先用压缩空气吹净铁心内表面和绝缘的尘垢。

② 打出全部槽楔。

③ 再用压缩空气吹净内部灰尘和槽内灰尘。

④ 采用781洗涤剂溶液对电动机进行彻底清洗；如果无干燥设备或无条件进行干燥可用汽油擦拭线圈、绝缘及铁心通风孔等处的污垢，要彻底擦净。

⑤ 用环氧板、云母板等材料将线圈与铁槽之间的间隙，以及线圈与出槽口处的间隙填充好和塞牢，要求线圈与铁心的间隙达到最小。

⑥ 进行涂漆处理。绝缘漆配方如下：

6101环氧树脂	100%
650固化剂	80%～100%
云母粉	50%～60%（或适量）
三丁脂	2%～4%（重量比）

稀释剂为丙酮与酒精按1:1配制，调节上面的绝缘漆，使粘度合适。

⑦ 打入全部的槽楔。

⑧ 让电动机自然固化干燥，亦可在绕组中通电流加热或者将电动机入炉干燥，这样固化时间可以缩短。

⑨ 端部喷耐弧的室温干燥灰磁漆 1 ～ 2 遍。

对于 10kV 等级的线圈，需要将线圈起出，然后按照防晕处理工艺进行喷刷半导体漆，经耐压试验合格后，再嵌入槽内；最后做绝缘浸漆烘干处理。不起出线圈，直接涂刷半导体漆，企图让半导体漆流入线圈内部，并填充在线圈绝缘与铁槽的间隙内，这种做法是很难达到预期效果的。因为半导体漆不会均匀地流入线圈与铁槽的间隙内，因此防晕效果不好，甚至比处理前更有害。

在给线圈作防晕处理时，要求槽内也要喷半导体漆，槽楔下垫条、层间垫条以及槽底垫条都要用半导体绝缘板制作。

〔3-35〕 把普通三相绕组改制成三相△-丫混合绕组时怎样进行计算？

答： 下面用两个例子介绍计算方法。

例1： 将 J2-81-8 三相异步电动机绕组改绕为△-丫混合接线的正弦绕组，试计算绕组线圈匝数和导线截面积。已知电动机容量为22kW，2△接线，380V，45.2A，定子槽数Z_1为72 槽，双叠绕组，线圈节距 y_1 为 1—9，并联路数 $a=2$，每槽导体数为30，每线圈匝数为15匝，导线为2-ϕ1.25mm。

解： 因为每极每相槽数 $q=\dfrac{Z_1}{2mp}=\dfrac{72}{3\times 8}=3$，故采取 $q_\Delta=2$，$q_Y=1$ 的分配方案。

极距 $\tau=\dfrac{Z_1}{2p}=\dfrac{72}{8}=9$

线圈节距 $y_1=8$

查表 3-20 计算△接线中的丫部分线圈匝数和△部分线圈匝

表3-20　三相绕组改△接线时匝数和导线截面积计算表

每槽导体数和导线截面积 / 原三相绕组的接线方式	△接线时各部匝数和导线截面积计算表					
	△接线的Y部分			△接线的△部分		
	q为偶数	q为奇数		q为偶数	q为奇数	
	$q_Y = q_\Delta = \frac{q}{2}$	$q = 3$ $q_\Delta = 2$ $q_Y = 1$	$q = 5$ 及以上	$q_Y = q_\Delta = \frac{q}{2}$	$q = 3$ $q_\Delta = 2$ $q_Y = 1^*$	$q = 5$ 及以上
原三相绕组为Y接线	$W_Y = W_{原}$	$W_Y = W_{原}$	$W_Y = W_{原}$	$W_\Delta = \sqrt{3} W_{原}$	$W_\Delta = \frac{\sqrt{3}}{1.1} W_{原}$	$W_\Delta = \sqrt{3} W_{原}$
	$S_Y = S_{原}$	$S_Y = S_{原}$	$S_Y = S_{原}$	$S_\Delta = \frac{1}{\sqrt{3}} S_{原}$	$S_\Delta = \frac{1.1}{\sqrt{3}} S_{原}$	$S_\Delta = \frac{1}{\sqrt{3}} S_{原}$
原三相绕组为△接线	$W_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} W_{原}$	$W_Y = \frac{1.1}{\sqrt{3}} W_{原}$	$W_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} W_{原}$	$W_\Delta = W_{原}$	$W_\Delta = W_{原}$	$W_\Delta = W_{原}$
	$S_Y = \sqrt{3} S_{原}$	$S_Y = \frac{\sqrt{3}}{1.1} S_{原}$	$S_Y = \sqrt{3} S_{原}$	$S_\Delta = S_{原}$	$S_\Delta = S_{原}$	$S_\Delta = S_{原}$

注：* 选用跨距 $y_1 = \frac{8}{9}\tau$ 比 $y_1 = \frac{11}{12}\tau$ 优越。

数，同时可确定出相应的导线截面S_Y和S_Δ。

丫部分线圈匝数 $W_Y=\frac{1.1}{\sqrt{3}}W_{原}=\frac{1.1}{\sqrt{3}}\times 15=9.52$（匝）

取10匝

△部分线圈匝数$W_\Delta=W_{原}=15$（匝）

式中 $W_{原}$——为原绕组的线圈匝数

丫部分导线截面积 $S_Y=\frac{\sqrt{3}}{1.1}S_{原}=\frac{\sqrt{3}}{1.1}\times 2\times 1.227$

$=3.864$（mm²）

选用2-ϕ1.56mm导线。$S_{原}$为原导线截面积。

△部分导线截面积$S_\Delta=S_{原}=2.454$（mm²）

仍采用2-ϕ1.25mm电磁线。

例2：有一台JS116-4、125kW三相异步电动机，3kV，丫接线，线圈节距$y_1=1$—11，定子槽数Z_1为48槽，每槽导体数为32，定子线规 1-1.56×3.53，双层叠绕组。求改绕成△-丫混合绕组时的线圈匝数和导线截面积？

解：因为每极每相槽数 $q=\frac{Z_1}{2mp}=\frac{48}{3\times 4}=4$，所以选 $q_\Delta=q_Y=2$

已知双层绕组，每槽导体数为32，则每线圈匝数为16，按表3-20公式计算得：

$$W_Y=W_{原}=16\text{（匝）}$$

$$W_\Delta=\sqrt{3}W_{原}=27.7\text{（匝），选28匝}$$

$$S_Y=S_{原}=3.9468\text{（mm²）}$$

$$S_\Delta=\frac{1}{\sqrt{3}}S_{原}=2.28\text{（mm²）}$$

最后按槽满率，选用导线规格。

〔3-36〕 国外耐氟电动机能用国产绝缘材料修复吗？

答：修理经验表明，对于国外电冰箱和空调器压缩机用的电动机所产生的故障，用一般国产绝缘材料进行修复是不能保证质量的。但是从国外引进绝缘材料又非常昂贵，那么能否用国

产的绝缘材料修复呢？随着我国绝缘材料的发展，实践证明只要选择合适的绝缘材料是可以代用国外绝缘材料修好故障电动机的。

（1）首先选用合适的电磁线。以前国产电磁线比进口电磁线的介电性能差，原因是国产裸铜线表面质量处理不好，所以与外表面涂挂漆层结合不牢，漆膜有微孔，电磁线绝缘外径尺寸公差不合格，裸铜材质较硬，工艺性不良，所以绕出线圈的击穿率较高。目前，由于我国电磁线制造厂为提高产品质量，从国外引进先进的制造电磁线设备，同时还从国外引进性能和工艺较好的电磁绝缘材料，因此，已能制造出合格的电磁线。

做为耐氟电动机用电磁线可选用聚酯亚胺/聚酰胺双层复合漆包线，型号QZY/QXY。

酰亚胺这种漆包线具有耐氟、耐温性能，经广州电器科学研究所试验已达到或超过美国和日本某些公司的水平，并且符合美国UL标准。

（2）合理解决槽绝缘代用问题。耐氟电动机用的槽绝缘材料可按电动机绝缘等级进行选用。比如E级绝缘的电动机，可选用上6031-1耐氟聚酯薄膜复合箔，厚度0.2～0.3mm和聚酯薄膜（PM），厚度0.1～0.2mm。

对于B级电动机，可选用FDH（DHD）复合箔，厚度0.25mm，和HDH复合箔，厚度0.2mm。对于F级电动机，选用NMN复合箔，厚度0.2～0.25mm。H级电动机，选用NHN复合箔，厚度0.2～0.25mm。

（3）引接线的代用。对于使用温度为120℃的电动机，可选用0.3～0.5mm²的铜芯聚酯薄膜绝缘耐氟电动机绝缘引接软线；对于使用温度为180℃的电动机，可选用0.25～0.5mm²的镀锡铜芯聚四氟乙烯绝缘耐氟电动机绕组引接软线。

（4）套管和绑扎带的代用。耐氟电动机绕组的绑扎带选用0.3～3mm厚度的无碱玻璃丝带，引接线套管选用ϕ1～8的定纹玻璃丝编套管。

电冰箱压缩机的电动机的绝缘绑扎选用0.3～2.0mm厚度的聚酯编织绑扎带，其引接线用套管选用ϕ1～8的聚酯编织套管。

（5）浸渍漆的代用：

①　B级耐氟电动机可选用B829无溶剂耐氟绝缘漆，特点是只需浸渍一次，也可选用103F耐氟绝缘漆，特点是价格较廉。

②　F级耐氟电动机可选用H203耐氟浸渍漆。

③　B、F级混用的电动机，可选用9101-1耐氟无溶剂浸渍漆。

第四章　质量检查及标准技术问答

〔4-1〕　电动机修理后效率降低是什么原因造成的？如何提高电动机效率？

答：电动机的效率η是输出功率P_2与输入功率P_1的比值，一般用百分数表示，即：

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}\times 100\%$$

电动机输入功率减去内部总损耗ΣP即为输出功率，即$P_1-\Sigma P=P_2$，内部损耗全部转换为热能。希望电动机内损耗低，也就是说希望电动机效率要高。通常电动机效率在70%～94%范围。

考虑到电动机内部损耗，电动机效率公式可写成：

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}\times 100\%=\frac{P_1-\Sigma P}{P_1}\times 100\%$$

$$=\left(1-\frac{\Sigma P}{P_1}\right)=100\%$$

电动机效率与负载大小有关，当电动机未带负载时（即输出功率为零时），电动机效率$\eta=0$，随负载增大而增大，当负载率达到75%～90%范围内时效率最高，在某一负载下有最大值，因此要求电动机运行在负载率为75%～90%范围内。

电动机经修理后造成效率降低，则说明经修理后的电动机损耗增大所致。由于损耗增大，电动机温升增高，绝缘寿命降低，这是所不希望的结果。

（1）电动机修理后造成铜损耗增大原因及解决办法：

①　导线规格不符，比如电磁线径选细。应按原始记录或图纸选用。有条件减薄槽绝缘时可适当加粗导线线径，从而降低铜耗。

② 线圈尺寸做大，使线圈电阻增大。要求合理设计绕线模，条件允许时，可适当缩短线圈端部长度。

③ 三相绕组不对称，应检查三相绕组接线，各线圈匝数以及极相组接线等是否正确。

④ 绕组并联支路内有环流。应检查绕组并联支路是否对称，有无短路点。

⑤ 用不同截面积的导线并绕，使各支路电流密度分布不均。在缺少所需规格导线时，尽可能选用截面积相同或相近的导线并绕。

⑥ 更换的转子铜条材质不合要求，导电率低。应选用合适牌号的铜材，一般笼型转子的工作笼是用紫铜、起动笼是用黄铜制作的。

⑦ 铸铝转子有缺陷，如铸铝含有气孔、裂纹、断条等。可用短路侦察检查，及时处理故障点。

⑧ 绕线转子电刷压力过大，增加摩擦损耗。应调整刷压，并使各电刷刷压差在10%以内。

⑨ 集电环与举刷装置中的短路环接触不良。用砂布或什锦锉修理接触部位毛刺、锈斑，使接触良好。

⑩ 铜笼转子的铜条与端环焊接不良，使电阻增大。应测试直流电阻和检查焊接部位，查出后重新焊好。

（2）修后电动机引起铁损耗增大的原因及解决办法：

① 由于不正确加热拆除旧绕组，铁心冲片被短路，冲片之间的绝缘漆烧焦，增大铁心涡流损耗和磁滞损耗。

② 为了嵌线方便锉大槽口，使槽口处冲片短路，增加了铁心表面损耗和脉振损耗。对于参差不齐的槽口冲片不宜采用锉刀锉削，可用铜板或硬绝缘板垫在槽口处，用手锤打击铜板将不齐的冲片打齐。如果槽口处已锉大，可采用磁性槽楔或磁性槽泥代替原有的绝缘楔来补救。

③ 更换铁心时采用单位损耗高的铁心代替，比如用D21牌号硅钢片代替D22，会增大铁损耗14%左右，使电动机效率降低

0.5%。也不可混用导磁性能不同的硅钢片，否则因磁负载不一致也使铁耗增加。

④ 车削转子或定子铁心精度不够或工艺不良，使冲片短接，铁耗增加。

（3）修理电动机使机械损耗增大的原因及处理方法：

修理中造成机械损耗增大的原因有装配质量、零部件加工质量以及检修质量不好而引起的。

① 轴承质量不佳，有缺陷或有故障。应检查轴承，确认存在质量不合格时要更换合格轴承。

② 填充润滑脂过多或过少，或润滑脂材质不合格等，造成机械损耗增加。应按工艺要求选用合适牌号的润滑脂和填加量。

③ 轴承配合尺寸公差不符。应按正确的轴承配合公差配制零部件。

④ 风扇叶变形，风扇叶与挡风板距离不合适。解决办法是在温升允许的情况下缩小风扇外径，降低通风损耗，因为通风损耗与风扇直径的3～4次方成正比。

⑤ 绕组端部形状不符要求，增大了通风损耗。应整理好端部形状，一般要呈现喇叭口形状。

⑥ 封闭扇冷式电动机的外风扇罩与风扇外圆间隙过大增加风耗。应调整达到合适间隙。

⑦ 风扇弄丢或忘记装上。应按原规格风扇补装。

⑧ 转子安装不正，使气隙不均，造成定、转子相擦，增加机械摩擦损耗。

⑨ 轴承的轴瓦挡油圈与转轴相擦，增加摩擦损耗。应调整挡油圈的同心度，使与转轴不相互接触。

⑩ 电刷与集电环接触摩擦损耗增加。应检查电刷牌号和滑环表面状态，选用合适电刷；清除滑环表面污垢，清除滑环缺陷。电刷与滑环的接触面不少于75%。

（4）杂散损耗增大原因及处理方法：

① 绕组型式选择不当，使气隙磁势中含有较多的高次谐

波。对于60°相带绕组，宜采用短节距（短距系数：0.8～0.86），可降低总杂耗20%，对于2极、4极电动机采用△接线方式的绕组，可降低总杂耗的30%左右。

② 改极数重绕时，定、转子槽配合选择不当。要求改极前要对定、转子槽数进行校核。

③ 电动机铁心经锉槽口使齿谐波磁通幅值增大。可采用磁性槽楔补救。

④ 气隙不均，要重新安装找正。因为当气隙偏心度在0.25mm以下时，杂耗增加不大，小于10%，但偏心度增到0.6mm时，杂耗要增大一倍。

⑤ 三相绕组不对称，要求尽可能用三相对称绕组，在一般情况下，不要用三相非对称分数槽绕组。

⑥ 线圈重绕时，磁路过饱和，使气隙磁通波形畸变。可增加匝数或采用整节距绕组降低磁路饱和。

⑦ 在直槽电动机中，并联支路选择不当。比如18.5kW，4极电动机，槽配合为42/48，当接成4路并联时总杂耗增加25%。

⑧ 修理有故障的铝笼时，可改为铜笼，降低铜耗和杂耗。

⑨ 定子铁心内圆不可轻易加工，防止冲片短路。

〔4-2〕 电动机修理后使功率因数降低是什么原因造成的？如何解决？

答：已知三相异步电动机的输入功率：

$$P_1=\sqrt{3}U_1I_1\cos\phi$$

所以电动机的功率因数：

$$\cos\phi=\frac{P_1}{\sqrt{3}U_1I_1}$$

式中 U_1——线电压（V）

I_1——线电流（A）

假定电源电压U_1和输入功率P_1不变时，如能提高功率因数$\cos\phi$，则线电流I_1减少，说明在做相同的有用功时铜损耗降低，铁损耗也减少。

当电动机处于空载时，输出功率为零，这时电流I_1中主要是无功励磁电流，叫空载电流I_0。

即：
$$\cos\phi_0=\frac{P_0}{\sqrt{3}U_0I_0}$$

式中 P_0——空载输入功率（kW），主要消耗在铁损和机械损耗上

I_0——空载线电流（A）

U_0——空载时线电压（V）

$\cos\phi_0$——空载功率因数

由于这时P_0较小，而U_0和I_0较大，所以$\cos\phi_0$很小，一般为0.2～0.3。做空载试验时，为使测量准确，选用低功率因数的瓦特表就是这个原因。

在修理过程中造成$\cos\phi$降低的原因和解决办法如下：

（1）盲目车小转子，使气隙增大，由于气隙增大，要求气隙无功励磁电流要大，因此功率因数降低，所以不可盲目车削转子外径。

（2）锉槽口也相当于增加气隙长度，效果同上，所以不允许锉槽口，只能采用合适工具校正不齐的冲片。

（3）定、转子铁心的两个中心线未对齐，可能是更换新轴时铁心位置尺寸不准确，或是同型号电动机转子装错或装反，使铁心有效长度变短，造成励磁磁势增大，无功电流增加，使功率因数降低。在修理配制加工机座、端盖、转轴和转子支架的轴向尺寸时，一定要做好原始记录或按图认真加工，不许有误。

（4）电动机运行日久，定、转子铁心偏心，使槽漏抗增大，也会降低功率因数，处理办法是拆出线圈，松开铁心的紧固螺栓，调整后重新压紧铁心，再将紧固螺栓固定好。

（5）电动机安装时，气隙调整不均匀，使铁心各部分磁通密度饱和程度不一致，也造成功率因数降低。所以安装电动机时必需调整好气隙均匀度。

（6）重绕线圈时匝数少，或线圈节距改小，使空载电流增

大，功率因数降低。由于励磁电流与匝数平方成反比，所以要按正确线圈匝数施工。如果原电动机功率因数偏低，重绕线圈时可适当增加匝数，这时不要使导线截面积改小，同时由于匝数增加要考虑槽满率大小，槽满率不要超过80%，否则不易嵌线，既或勉强嵌入，也很难保证质量。这时可考虑选用薄绝缘结构加以补救。

（7）浸两遍漆的电动机改为浸三遍漆，由于增加浸漆遍数可以提高电动机散热能力。但大于三遍漆时效果不大，这是因为漆膜过厚影响散热。如有条件改为真空压力浸漆可提高散热能力。

（8）如果槽内有空间，可适当增加线圈匝数（但不要减少直径），然后适当车削转子外径，由于降低杂耗和磁通密度，提高轴向散热能力，可降低电动机的温升。

（9）可提高电动机绝缘等级。

〔4-3〕 电动机经修理后使噪声和振动增大的原因有哪些？如何鉴别和解决？

答：通常电动机的噪声和振动是同时发生的。电动机噪声包括通风噪声、电磁噪声和机械振动噪声。由于电动机修理操作不当，造成电动机修后的噪声和振动增大，其原因如下。

（1）机械方面引起的：

① 转子固定键未拧紧，有松动现象。

② 未做风扇静平衡，或做的精度不够。

③ 转子不平衡，未做静、动平衡检查。

④ 定、转子铁心变形。

⑤ 转轴弯曲，定、转子相擦。

⑥ 地脚固定不稳，安装不正，不牢固。

⑦ 铁心及铁心齿压板松动。

⑧ 零部件加工不同心，装配公差不合理。

⑨ 电动机组装和安装质量不好。

⑩ 端盖、轴承盖螺丝未拧紧，或装偏。

（2）电磁方面引起的：

① 三相绕组不平衡。

② 绕组有短路或断路故障。

③ 电刷接触不好，压力过大、过小，刷质不合要求。

④ 断笼或端环开裂，松动。

⑤ 改极时，定、转子槽数配合不适应。

⑥ 集电环的短接片与短路环触头接触不稳定。

⑦ 电源供电质量不好，三相不平衡，有高次谐波等等。

（3）通风方面引起的：

① 风扇有缺陷或损坏，如掉叶、变形、风扇不平衡产生噪声和振动。

② 风扇在轴上固定不牢固。

③ 风罩与风扇叶片之间的间隙不合适，过小或偏斜。

④ 风路局部堵塞。

（4）三种噪声简易鉴别法：

① 通风噪声鉴别法：

（a）去掉风扇或堵住风口，让电动机在无通风气流情况下运转，这时如果电动机噪声消失或显著减弱，则说明是通风噪声引起的。

（b）改变测量噪声的位置进行鉴别，因为以通风噪声为主的电动机，在电动机进出风口处和风扇附近处噪声最强。

（c）电磁噪声和机械噪声有时不稳定，时高时低，而通风噪声通常是稳定的。

（d）选用外径和型式不同的风扇，在不同转速下试运转，如果电动机噪声有明显差别，则说明电动机噪声主要是通风噪声引起的。

（e）机械噪声或电磁噪声较大的电动机，往往振动也大，但通风噪声与电动机振动关系不大。

② 机械噪声鉴别法：

（a）机械噪声与外施电压大小和负载电流无关。

（b）如果噪声不稳定，时高时低，那就是机械噪声，因为通风噪声是稳定的。

③ 电磁噪声鉴别法：电磁噪声大小随磁场强弱、负载电流大小以及转速高低而变，利用这个特征，可采取下面办法进行鉴别。

（a）突然断电法：由于机械惯性比电磁过渡过程慢得多，突然断电，无电磁因素影响，这时电动机转速几乎不变。如果这时电动机噪声突然消失或显著降低，可断定是电磁原因产生的噪声。

（b）改变电压法：由于异步电动机转速随电压变化不大，当改变电压时，机械噪声和通风噪声基本不变，但电磁噪声随电压变化很大。

（c）对拖法：用一台低噪声电动机拖动有噪声的被试电动机，这时如果噪声降低或消失，则说明被拖动的电动机噪声是电磁噪声。

（d）如果电磁噪声是因绕组不对称，匝间短路等缺陷引起，则三相电流不平衡；如因转子断笼或绕线转子三相绕组不对称引起，则定子电流有波动。

（5）解决噪声和振动的修理措施：

① 降低机械方面引起噪声的措施：

（a）紧固所有装配件上的紧固螺栓，保证端盖，轴承盖，定、转子铁心，固定键，齿端板，风扇座，集流装置等配合不松动。

（b）选用合格的轴承和润滑油，选用超精研磨、波纹度小于0.2μm的电动机专用轴承，可降低轴承噪声。

（c）装配轴承时，要采用合理工具，最好热套。装配轴承时严禁猛打猛敲，使轴承受力不均。

（d）增强修配零部件的机械强度和精度。

（e）电刷硬度适当降低，刷压要合适，电刷在刷盒内间隙要合适（一般0.1mm左右），不可过松过紧。

（f）校正转子平衡。

（g）提高电动机组装质量，保证同心度，与机械设备联接要正确，做好确定中心工作。

（h）检查铁心的偏心情况，必要时可适当车圆转子表面（控

制切削量0.10～0.20mm)。

（1）检查电动机轴伸和集电环的偏摆，使之合格。

② 降低电磁方面引起噪音和振动的措施：

（a）三相绕组在设计和安排上要三相对称。

（b）检查绕组故障，要及时处理好，比如绕组存在匝间短路，或举刷装置的短路元件的接触不良，转子断笼，端环开焊等故障。

（c）选择先进的绕组型式和合理的跨距以降低高次谐波，欲使高次谐波中ν次谐波消除，可使ν次谐波的短距系数为零，从而计算出合适的线圈跨距。

（d）采用磁性槽楔或磁性槽泥降低齿槽效应。

（e）提高气隙均匀度，按工艺规程要求正确组装和安装电动机。

（f）改极数时，要校核定、转子槽数是否适应新极数的要求。

③ 降低通风方面引起噪声和振动的措施：

（a）当电动机容量有余时，比如负载率在30%以下，可适当减小风扇外径，以降低风扇噪声和振动。

（b）适当增加风扇与风扇罩之间的间隙，使通风噪声降低。

（c）电动机组装时，要使定、转子铁心径向通风沟对齐，否则会引起通风噪声和振动。

（d）只需单方向旋转的电动机，可考虑改用高效轴流风扇。

（e）提高定、转子绕组端部表面的平滑程度。

（f）将大刀式风扇改为盆式风扇，可降低电动机噪声。

〔4-4〕 修理电动机时造成电动机损耗增大的原因都有哪些？如何防止？

答：

（1）造成电动机铜耗增大的原因及防止措施如下。

① 铜耗增大的原因：

（a）电磁线材质不佳，电阻大，增大铜耗。

（b）绕制线圈时匝数多或拉力大，或线圈尺寸过大，使线圈电阻增大，造成铜耗增大。

（c）导线规格不符，线径过细，使线圈电阻增大，铜耗增加。

（d）铸铝转子有缺陷，如有缩孔、裂纹、断条现象。

（e）铝材不纯，电阻大，使转子铝耗增大。

② 防止措施：

（a）采用合格的电磁线，线规符合要求。

（b）绕制线圈时要使用尺寸合适的绕线模，导线拉力要适中，不可过大或过小。

（c）保证焊接质量。

（d）检查铸铝转子质量，应无缺陷存在。

（2）造成电动机铁耗增大的原因及防止措施。

① 造成电动机铁耗增大的原因：

（a）铁心叠装不齐，压力不够，槽形不规矩，铁心内外圆不同心，铁心齿外张等均造成铁耗增加。

（b）修理铁心时锉槽，使冲片短路，造成铁耗增加。

（c）修理时采用不适当工艺，将铁心绝缘损伤，造成冲片短路，增大铁耗。

（d）铁心扫膛后，做车削定子铁心内圆处理，使扫膛部分铁耗增大。

（e）冲片绝缘老化，冲片间松弛，压力不足，电动机除铁耗大之外，还伴有噪声产生。

② 防止措施：

（a）修理铁心时，不许锉槽，槽口不齐可用铜板或绝缘板校正。

（b）槽形不齐或不规矩时，也不许锉槽，可用槽样棒校正，槽样棒尺寸比槽形尺寸小0.1mm，公差为±0.02mm，要求其表面粗糙度要细于$R_a0.5$。

（c）铁心发生扫膛时，要检查铁心发热情况，不检查也未

处理是不允许的。铁心表面的短路区域可用酸（盐酸或硫酸）腐蚀冲片的短路毛刺。

（d）发现铁心松弛和有扇张现象，一定要处理好。检查铁心松弛方法可用一薄尖刀片，将其用力插入铁心冲片间，插不进为合格，如插入，甚至用改锥也能插入，那么要进行处理，否则不但铁耗大，噪声也大。

（3）造成电动机机械损耗增大的原因及防止措施：

① 造成机械损耗增大的原因：

（a）轴承座和轴颈加工精度不够，使轴承装配不正，造成轴承摩擦损耗增大。

（b）轴承内填入的润滑脂牌号不对或填加量不符要求，以及润滑脂不干净等，均会造成电动机机械损耗增大。

（c）轴承质量不合格。

（d）拆装轴承时工艺不正确，将轴承损伤。

（e）转子风扇叶缺损、变形，挡风板安装不正确，影响电动机机械损耗增加。

（f）转子表面涂漆后有漆瘤未清理干净。

（g）电动机装配质量不好。

（h）电动机与负载安装不同心等，均会造成机械损耗增大。

② 防止措施：

（a）保证转轴、端盖、轴承座与轴承配合的表面加工的精度、公差尺寸和粗糙度。

（b）装配轴承要按照正确工艺进行，不许用铜棒打入方法。热套装的轴承不许改用冷装。

（c）选用合适牌号的润滑脂，填入适量的润滑脂。操作环境要干净。

（d）风扇和挡风板的安装要正确，有缺陷的风扇要修理好。

（e）转子浸漆后，要将转子表面的漆瘤清理干净。

（f）电动机本身组装要注意同心度，电动机与负载安装要注意定中心。

（g）选用合格的轴承。

〔4-5〕 电动机修理后造成堵转转矩降低的原因有哪些？如何提高堵转转矩？

答： 电动机投入额定电压、额定频率的电源时，转子将要起动的瞬间，这时电动机产生的转矩叫堵转转矩（也叫起动转矩）。堵转转矩大，表明电动机的起动性能好，起动损耗降低，所以这是电动机性能的技术指标之一。

堵转转矩与电源电压的平方成正比，当电动机线圈重绕时，把匝数增加了，就相当于降低了电源电压，则电动机的堵转转矩与线圈匝数的平方成反比例的降低，使电动机的堵转转矩降低，起动性能变坏。

另外，电动机的漏抗与线圈匝数的平方成正比例，当线圈匝数绕多时，漏电抗增加很多，使堵转电流降低，所以进一步使堵转转矩降低。再有堵转转矩与转子电阻大小有关，当转子电阻增大时，堵转转矩也增大。

在修理电动机时，有时在处理电动机扫膛故障时车削转子，使电动机气隙增大，由于气隙增大，电动机漏电抗降低，所以增大了堵转转矩。从以上分析看出，欲提高堵转转矩可有以下措施。

（1）适当减少线圈匝数。

（2）适当车削转子外径，减少槽漏抗。

（3）车削转子端环，使端环截面积适当减小，但要考虑改极使极数降低时，端环截面积不足的问题。

（4）更换电阻率较大的转子导条，以增加转子电阻。但要考虑电动机运行时转子铜耗增大的问题。

车削转子外径和转子端环对4极以上的电动机效果不大。

〔4-6〕 电动机修理后温升偏高是什么原因造成的？如何降低温升？

答： 除外界原因（如环境温度高）造成电动机温升高之外，在电动机修理过程中由于操作质量不佳也会造成电动机温升增

高。可从产生热量和散发热量两个方面分析。

（1）修理后造成电动机温升高的原因分析如下。

① 在重绕计算方面：

（a）电磁负载选择偏高，如选择电流密度和磁通密度超过正常值很多。

（b）线圈匝数选少或线圈节距选小，使气隙磁密增高。

（c）电流密度偏大，导线选细。

② 在通风散热方面：

（a）忘装风扇或风扇装反，使冷却风量减少。

（b）有杂物堵塞通风沟。

（c）封闭式电动机机座的散热筋撞坏、残缺，减少散热面积。

（d）忘装电动机内部挡风板或外风罩和外风扇不能形成风路或降低通风效果。

（e）定子铁心与机座配合松动，增加铁心到机座之间热阻，影响散热。

③ 在绕组修理方面：

（a）槽满率低，浸渍不足，匝间有空隙。

（b）浸漆不良，应浸两遍，只浸一遍漆。

（c）△接误接成丫接，满载后绕组过热。

（d）三相绕组中有一相断开，三相电流不平衡，引起绕组过热。

（e）绕组有短路故障。

（f）绕线圈时，拉力过大，将细导线拉变形，导线截面积变小。

（g）绕组端部整形不符要求，未形成正确的喇叭口形状，影响散热，尤其是2极和4极电动机影响更大。

（h）高压电动机端部绝缘未包紧，绝缘过臃肿，减少散热能力。

（2）通过修理降低电动机温升的措施：

① 改善电磁负载：

（a）按槽形尺寸大小调整导线截面积，如果电流密度偏高可改用薄绝缘结构。

（b）线圈匝数应按原始记录施工，如果有必要降低磁通密度，可适当增加1～2匝导线，但导线截面积不可低于原线线规。

② 改进通风方面：

（a）可考虑改进风扇形状，比如大刀式或盆式外风扇，可加大扇叶宽度或增加叶片数来增加风量。

（b）调整风扇出口导向角以改善气流的导向，减少风阻。

（c）适当加长外风罩的轴向长度，提高外风扇吹拂效果。

（d）将径向通风改为轴向通风，可降低电动机温升。

（e）加强维修质量管理，加强修理责任制。

③ 在绕组修理改进方面：

（a）为保证模压的高压线圈或硬线圈端部各线圈边间的足够散热间隙，不可用软线圈代替，否则由于端部散热困难，电动机绕组发热。

（b）高压电动机端部垫块和绑扎不可太密，绕组端部绝缘不可太厚，最好经过热压处理。

（c）低压电动机端部线圈边的相间绝缘，用包扎绝缘带来代替相间三角纸垫，可改善端部绝缘的通风散热效果。

〔4-7〕 电动机修理后造成空载电流或空载损耗增大或不平衡的原因有哪些？如何解决？

答：修理过程中造成空载电流和空载损耗增大或不平衡的主要原因是绕组匝数、电动机装配、铁心质量、轴承质量，以及气隙等存有缺陷或存在问题。

中小型三相异步电动机在额定电压下三相空载线电流约为额定电流的16%～55%，此百分数大小随电动机极数增加而增加，随电动机容量增大而减小，另外还跟电动机结构型式有关，比如起重、冶金电动机，空载电流占额定电流的百分数要大些，甚至接近额定电流值，空载损耗约为额定功率的3%～8%，这个百分数

随着电动机极数的增加而减小，随着电动机容量的增大而增大。

产品技术条件规定：当三相电源平衡时，电动机在额定电压下，三相空载电流任何一相与三相平均值的差不得大于三相平均值的10%。如果三相电源对称，调换电动机引出线相序时仍存在三相定子电源不平衡，则表明电动机本身有缺陷。由于修理质量不好造成电动机修后空载电流增加或不平衡的原因和处理方法如下。

（1）用火烧或火碱水煮电动机铁心，破坏了电动机冲片绝缘，使空载电流增加，铁耗也增加。

（2）丫接法绕组误接成△接，或绕组并联路数从一路误接成多路，使每相绕组匝数变少。丫接法误接成△接法，则绕组匝数降低$\sqrt{3}$倍，相当于相电压增加$\sqrt{3}$倍，使空载电流增加许多。

（3）组装电动机时，转子装反或用其他相近电动机转子“张冠李戴”，使定、转子铁心中心线未对齐，造成空载电流增大。

（4）车转子使气隙增大，励磁功率增加，造成空载电流增大，功率因数降低。

（5）组装电动机时，气隙未调均，使三相空载电流增大且不平衡。

（6）重绕线圈时，三相绕组不对称，引起三相空载电流不平衡。重绕线圈时匝数绕少或绕组系数变小（如线圈节距改小）均引起空载电流增大。

（7）绕组有故障，如断路、短路、接反等等，使空载电流增大且三相不平衡。

在修理试验时，发现空载电流和空载损耗增加有以下四种情况。

（1）空载电流和空载损耗都增大。如果三相绕组的直流电阻正常，可排除线圈匝数和焊接质量问题。这时可根据空载电流和空载损耗增大的程度来考虑是由于铁心质量不好，气隙增大还是安装不正确造成的原因。修理过程中拆线圈用火烧或火碱水煮均会破坏铁心绝缘，试验时表现出空载损耗骤增。气隙增大有两个原因造成的，一是电动机运行年久，风尘磨损使电动机气隙增大，

一般要增大15%左右；另外是由于修理时锉大槽口和车削转子外径使气隙增大。

如果绕组直流电阻不正常，则可考虑线圈匝数和焊接问题。有时是各种原因综合的结果。

（2）空载电流大，而空载损耗正常。空载损耗包含铁损耗、空载铜耗和机械损耗。由于空载损耗正常，所以不必怀疑铁心质量问题和轴承、通风等故障问题，这时可按上面介绍的空载电流增大的各种原因去分析。

（3）空载损耗增大，而空载电流正常　空载损耗大，说明铁心变质，铁心损耗增加，轴承装配和通风系统有故障，使机械损耗增加，这时可排除绕组故障和匝数等问题，因为绕组问题和匝数不对，首先在空载电流上有反应。

（4）空载损耗增加，空载电流不平衡。空载电流不平衡，如排除电源不平衡原因之外，那就是三相绕组不平衡所致，如三相绕组属于非对称分数槽绕组；三相绕组线圈匝数分配不均或极相组分配不均；绕组接线有误；某相并联支路匝数有问题；绕组有短路故障等等，均会造成三相空载电流不平衡。由于空载电流不平衡，空载电流本身增大，同时引起空载损耗增加。

修理后的电动机，希望空载电流和空载损耗在允许范围内。因为空载电流大，会引起功率因数降低，定子铜耗增大，电动机温升增加，效率降低；空载损耗增大，由于铁耗和机械损耗增大，也会引起电动机效率降低和温升增加。

〔4-8〕 修理过的电动机造成堵转电流过大或过小及不平衡的原因是什么？如何通过这些参数变化来判断电动机故障？

答： 相同规格电动机的堵转电流一般只差3%～6%，要求三相堵转电流的任何一相与三相平均值之差不得超过平均值的2%～3%。

（1）如果电动机经修理后发现堵转电流过于小，其原因是：

① 修理过程中为了解决铁心偏心或定、转子相擦故障，将转子表面车小，使气隙增大。

② 铜笼焊接质量不好，铝笼转子铸铝有缺陷等。

由于堵转电流过小，使电动机最大转矩和堵转转矩降低，致使转子铜耗增大，温升增高，电动机效率降低。

（2）电动机经修理后，造成堵转电流过大的原因是：

① 铁心槽口变大。

② 定、转子铁心中心线未对齐。

③ 线圈端部尺寸缩小，等等。

（3）电动机经修理后造成堵转电流三相不平衡原因是：

① 定子绕组匝数有短路故障。

② 转子绕组断条或焊接质量不良。

③ 铝笼铸造有缺陷，等等。

为了判断故障是定子绕组造成还是转子绕组造成，可在定子绕组上施加低电压（如对380 V的电动机，施加50～60 V低电压），以转子不转动为限，用手转动转子，若定子三相电流波动较大，则说明转子存在断条或开焊；如果定子电流明显不平衡，但每相电流大小与转子转动的位置无关，则说明定子绕组有匝间短路故障。

〔4-9〕 经过修理的电动机造成堵转损耗过小或过大的原因有哪些？如何通过这些参数变化来判断电动机故障？

答： 同规格电动机的堵转损耗一般只相差5%～10%。为保证堵转转矩合格，所以堵转损耗不能过小。电动机修理后试验检查时，如发现堵转损耗降低，则说明转子起动电阻偏小，比如起动笼条中黄铜条用紫铜条代替时就会造成这样故障，结果使堵转转矩降低。又如JQ、JQO系列高转矩的三相电动机，笼条是用高电阻率合金铸成，修理时改用电阻率偏低的材料代替时，也会造成这个故障。

电动机经修理后，发现堵转损耗增加时，说明是由于转子铜条焊接有缺陷，或者是采用的材料不符合要求，如转子笼条用黄铜代替原来的紫铜笼条。另外，对于铸铝转子，则说明有断条、缩孔等缺陷存在。

电动机修理后，由于修理不当使堵转损耗增大，导致电动机

转差率增大，所以转子铜损耗增加，电动机温升增加，电动机效率降低。

〔4-10〕 为什么绕组故障多发生在转子上？提高转子绕组修理质量有哪些措施？

答：

（1）转子绕组除承受与定子绕组所承受的电磁力、热应力之外，还要承受因转速变化引起的负载冲击力和超减速的离心力。另外，还要遭受刷粉的侵蚀，如起重、冶金电动机转子绕组多发生在集电环端，就是因刷粉侵蚀在相邻并头套间造成短路所致。另外，由于转子承受不平衡的振动力和离心力，用与定子同样规格的焊锡进行焊接时，同样达到或接近软化温度时，转子就要甩锡，而定子可保持良好焊接点。以上均是转子绕组故障多于定子绕组的原因。

（2）提高转子绕组修理质量有以下措施。

① 提高焊接质量，比如保证和提高绕线转子的并头套焊接时，要使修配的并头套尺寸精确；利用旧有的并头套时要清理干净，校正尺寸和形状；并头套塞入的铜楔尺寸要正确。以上要求的目的是保证导线、铜楔与并头套之间的间隙均匀、合适。间隙局部过大或过小，均会影响焊接质量。如间隙过大会发生虚焊，焊点发空；间隙过小时焊接强度不够。

如有条件，可将锡焊改为硬焊，如采用含银2%的低银钎焊料。这种钎焊料成分：含银1.8%～2.2%（1.8%～2.3%），含磷6.8%～7.2%（6%～6.8%）其余为铜。括弧内数值是日本三菱公司的2%低银钎焊料配方。

再有，集电环与转子引线的焊接点，引线与短路环之间的焊接点都要遵守工艺规程，认真操作，为了提高质量也应改为低银钎焊料。

② 转子绕组导线有高强度漆包圆线和高强度漆包扁线，以及双玻璃丝包线等三种导线绕成。对于用圆导线绕制的线圈，要求端部线匝排列整齐，不可有单独1～2根导线悬空，因这些导线

未能被绝缘漆粘成整体，匝间易进入碳粉、灰尘，在电磁力和离心力等振动下相互摩擦将漆皮磨破，产生线圈匝间短路故障。对于容量较大的电动机，线圈鼻端应该用绝缘带半叠包一层。

对于扁导线，要求导线绝缘剥到并头套为止，不要在并头套和绝缘导线之间露出很长一段裸铜，因碳粉堆积在这里就会将相邻两裸铜线端短路，造成转子“放炮”事故。

扁铜线绕组端部线边（斜边）相互之间要用撑条或撑垫固定好，防止转动时这些部位因位移而发生振动，造成匝间或对地故障。

③ 转子绕组外面绑扎无纬带时，要事先将线圈整好形，并且使线圈紧密地贴服在转子支架绝缘上，不可悬空，否则虽然绑扎牢固，但由于线圈与支架之间松动，使端部铜条产生径向振动也会磨破绝缘，产生对地或匝间短路故障。绑扎无纬带之前压服线圈端部时，要加热，用铁板做几个圆箍，沿轴向均匀围在线圈端部，然后均匀箍紧端部绕组。待绑扎无纬带时，松开一个铁箍绑扎一个无纬带箍，这样可保证线圈不弹起，并能够与转子支架紧密贴服。对于端部需要连续全面绑扎无纬带时，应在绑箍未松开的情况下浸漆烘干，绕组粘结成整体后，去掉铁箍再连续绑扎无纬带。无纬带不可有过大的交叉角度，以防降低强度。

在线圈整形时，无论如何不可用手锤直接敲打端部线圈，这样会损伤漆包线绝缘。

〔4-11〕 修理的电动机经检查确认修理质量良好，但空载电流不平衡是什么原因造成的？

答： 如上面所介绍三相空载电流的不平衡度只要小于10%，是允许的，有些电动机因接线方式、绕组型式、气隙均匀度等原因，空载电流“先天”就不平衡，这是正常现象。通常造成这种在允许范围内的三相空载电流不平衡，（小于10%）的情况有：

（1）对于小容量电动机，多采用单层绕组，线圈匝数较多，虽然每相匝数相同，但每槽匝数不等，这样就会造成三相绕组不

对称，表现出三相空载电流不平衡。

（2）△接和 Δ接线的定子绕组，也有不平衡现象，也导致三相空载电流不平衡。

（3）小型 2 极三相电动机的 极 相组较少，多采用单层绕组，同一槽内的线圈属于同一极相组，因此绕组不对称，导致三相空载电流不平衡。

（4）当电动机铁心磁路饱和时，气隙磁场会有三次谐波分量，在△接法绕组中流有同相位的三次谐波环流，引起三相空载电流不平衡。

因此，电动机修后，试验发现三相空载电流不平衡时，要进行判定造成不平衡的原因，如果三相空载电流不平衡率在10％以内，又明确造成空载电流不平衡原因不是因修理质量造成，那么这台电动机就是合格的。

另外，在判定是修理不当造成三相空载电流不平衡时，要先检查三相电源是否平衡。这可调换电动机三相引出线与电源相接的相序来判别。任意调换两个引出线端后再与电源连接，如果三相电流不平衡情况不变，则说明是电源不平衡。电源电压不平衡率对电动机三相空载电流不平衡影响很大。当电源电压不平衡超过10％时，电动机铁损耗增加 6 ％，导致三相空载电流不平衡率达15％。

〔4-12〕 为什么要求定期清理绝缘漆？如何保证浸漆质量？

答：修理单位大多数是采用有溶剂绝缘浸漆，因漆的贮存期长（如1032漆或1038漆为半年），如果随浸随补入新漆时，可以延续使用多年。有的修理单位自从有浸漆工序后，经过多年，从来未检查过漆的粘度、质量，这样修理的电动机怎能保证质量。事实上电动机本身带有许多脏物——油泥、粉尘、润滑油、焊渣、汗渍等等，在浸漆时，多多少少要留在绝缘漆内，尤其修理单位的电动机是非常脏的，既或不采取沉浸法，采用铁壶浇漆方法，也要有大量脏物（尤其是金属屑杂质）随着绝缘漆流落在漆盘内，然后再循环使用，这样绝缘浸漆的耐压强度就会大大下降，有时

电动机发生绝缘击穿找不到原因，其实有可能漆中金属杂质在作怪。

为了保证电动机浸漆处理质量，要求对绝缘漆进行定期检查和过滤。采用过滤装置并装上电磁铁，可把漆中杂质和金属导体吸除。另外，对于绝缘漆的保存，最好贮存在冷却缸内，延缓老化，同时也保持干净。总之，绝缘漆必须有清理制度，定期化验检查，否则不能保证电动机修理质量。

〔4-13〕 修理后的电动机造成绕组短路故障如何检查和处理？

答： 电动机线圈均是采用各种电磁线绕制而成的，当电磁线外包绝缘破损时，就会造成两匝或数匝导线之间直接相接触而导通电流，这时便造成了线圈匝间短路现象。由于短路线圈阻抗很小，虽然短路线圈电压不高，也会在短路线圈所构成的回路中流过很大电流。这个大电流往往超过导线所允许的电流的几百倍，结果使导线在极短时间内发热而烧损绕组。

刚修理后的电动机绕组，更换了新绝缘，当然不会产生绝缘老化问题，也就是说，造成线圈短路的原因可排除绝缘老化的因素，即应找修后的电动机造成绕组短路原因。

（1）修理后的电动机短路原因主要有：

① 绕线圈时：

（a）使用不合格的电磁线绕制线圈，如高强度漆包线外表漆皮有破裂现象，在绕线时未能检查出来，或者根本未检查。

（b）用细圆导线绕制线圈时，拉力过大，使漆皮与裸铜剥离或产生裂纹。

（c）绕线时线匝排列不整齐，有交叉现象，造成嵌线时线匝之间绝缘压破。

（d）绕线模做大，或者临时用尺寸不合适的现有绕线模，结果使绕制的线圈尺寸过大，端部过长，线圈嵌入槽后，因线圈伸出铁心过长整形时压不回去，造成线圈端部与端盖相碰，产生匝间短路故障。

（a）绕线时为了使导线有一定拉力，采用线夹子，由于线夹材料过硬，压力过大，使扁铜线外包绝缘磨破，造成匝间短路。

② 嵌线时：

（a）槽满率大，嵌线时为了将线圈嵌入槽内，硬砸导线使导线绝缘受损伤。

（b）槽绝缘选择不当，或槽绝缘材质不合格，有暗伤没检查出来。

（c）嵌线时线匝之间有交叉，使线圈各匝之间的绝缘碰破。

（d）层间垫条、楔下垫条、线圈端部绝缘垫等垫偏或下料尺寸不合适。

（e）采用不适当的工具进行嵌线，比如有人用铁制的理线板进行理线，将线匝绝缘划破。

（f）槽内清理的不干净，槽口有毛刺，槽内有异物或残余绝缘未清理干净，铁心有扇张现象等等，也会造成线圈短路故障。

③ 连接线和焊接时：

（a）套管材质不良，尺寸不合适，套管破损等。采用普通塑料套管代用，在电动机干燥时会被熔化，失去绝缘作用。

（b）焊锡滴入端部线圈或端部绝缘上，将线圈导线绝缘或绝缘纸垫局部烧焦，失去绝缘能力。

（c）焊锡豆掉入绝缘或铁心缝隙内。

（d）焊接点表面不光滑，有毛刺，毛刺刺破套管绝缘。

④ 浸渍处理时：

（a）绝缘漆内含有杂质。

（b）绝缘漆牌号不对，材质不良。

（c）电动机浸渍绝缘漆后未烘干。

（2）修后的电动机绕组发生短路的部位：

① 线圈本身线匝之间发生短路。

② 上下层线圈（双层绕组）之间发生层间短路。

③ 线圈端部两相邻极相组间发生短路。

④ 两相绕组之间发生短路等。

（3）常用的检查方法：

① 如果小型电动机已装配好，可接入电源空转一次，约5min左右，迅速停电打开电动机端盖或抽出转子，用手或点温计检测发热点，同时观察绕组表面烧焦、过热痕迹，便可查到短路点。

② 如果电动机已解体，可采用电压降法检查。采用电压降法时，先将绕组三相连接线打开，然后逐相通入低压交流电，在相绕组中形成电压降，测量每相绕组电压降值，电压值低的相便是短路相。第二步是将此故障相的极相组之间连接线断开，每个极相组内通入低电压形成电压降，再用电压表测量每个极相阻的电压值，电压降值低的极相组就是短路的极相组。最后检查此极相组串联的线圈，便可把短路线圈查出来。这种从相到极相组到单独线圈的查找方法叫淘汰法，有许多故障的查找都是采用这种方法。如果绕组通入直流电亦可，这时要用直流电压表或用万用表的直流电压档进行测量。

③ 短路侦察器检查。将短路侦察器放在铁心表面后通电，再用锯条片沿铁心圆周逐槽缓慢移动，当铁槽处产生“吱吱”响声，这便是短路线圈所在处。

使用短路侦察器检查时，要注意：

（a）△接线圈在测试前必须打开△接的连接线，以防因△接内部环流影响，测量不准。

（b）试验时，先将短路侦察器放在铁心上，接触好之后再通电，试验完，先断电，然后再移开短路侦察器，否则，由于空气磁阻过大，使短路侦察器线圈内电流过大，烧坏绕组绝缘。

（c）短路侦察器与铁心表面的接触面要吻合，铁心表面无锈迹和杂物，否则影响测量准确度。

（d）对于双层绕组，锯条片放置位置应是距离短路侦察器左右两边各一个线圈节距的位置进行测试，因为双层绕组每槽中有两个线圈边，所以要测这两个线圈是否存在短路故障。

（4）短路处理方法：

① 套管绝缘破裂，造成连接线之间短路的处理办法是加热

线圈（100℃左右），将套管撬开，套管之间或套管与线圈之间垫入绝缘板，破损的套管重新套入绝缘合格的套管或绑扎绝缘带，涂环氧胶室内自然干燥后即可。

② 处理端部线圈短路时，也要将线圈加热（100℃左右），然后用竹板或理线板将端部短路处线圈撬开（使分离），同时测量电压降，如果短路消失（即电压降值增大），则表明短路点已找到，在此处垫入绝缘纸板，并将短路的线匝用绝缘带包扎好，最后涂上环氧胶或绝缘漆。

③ 如果槽上层线圈表面匝间短路，而槽绝缘还完好，这时可将线圈加热，将槽楔退下，把故障匝抽出，进行局部换线，即用同规格导线进行补焊，补够匝数再嵌入槽内，将绝缘垫好，涂环氧胶、打入槽楔。

④ 对于整只线圈产生短路故障的处理，可采用本册所介绍的穿线法、上层换线法等进行局部修理。

如果匝间短路较严重，建议进行线圈重绕，局部修理很难保证质量。

〔4-14〕 修理后的电动机造成绕组断路故障如何检查和处理？

答：三相绕组线圈、连接线、焊接头、引出线不通电流，则说明绕组有断路故障存在。这时电动机投入电源试空转时，由于某一相断开，电动机不能起动；如果某相的并联支路中有一个支路断开，另一个支路完好，电动机可以起动，但三相电流不平衡，发热。

（1）造成电动机绕组断路的主要原因：

① 焊接点不实，焊接处脱焊。

② 连接线和引出线连接不好或磨损短路烧断。

③ 有机械撞伤，使端部绕组或连线撞断。

④ 连接线或绕线时所使用的导线过硬，多次弯折，试空载电磁振动而开裂。

⑤ 由于绕组存在短路、接地等故障发热烧断线圈导线，造成断路。

（2）检查方法：可用试灯、万用表、兆欧表（摇表）、电压表等检查。

① △接绕组的检查，在检试前要将△接连接线拆开，分别检试每相绕组的断路情况，如果采用试灯检查时，将试灯一端接在某相一端，另一端接在此相的另一端，如果此相绕组无断路，则灯亮，否则因断路不通电流，灯灭。

② Y接绕组检查时，仍将试灯串上电池构成的检查器，将其一端接在Y接的中性点上，试灯的另一端分别接在各相的端头，如U_1、V_1、W_1先后接入，看哪个相不通，灯灭，则表示该相有断路存在。

③ 检查并联支路的某条支路是否有断路故障时，要先把三相连接和每相并联支路的连接都拆开，然后按上述办法分别查出每相并联支路是否有断路。

④ 查到某一相有断路存在时，则将试灯的一端接在此相的一端，试灯的另一端接上带有针尖的触头，逐个线圈插入，发现某线圈灯灭，则说明这个线圈断路。

（3）处理断路点的方法：

① 如果是引出线焊接不牢或被扭断，可在断路处重新焊接，然后包扎绝缘。

② 如果是端部线圈有断路时，首先要加热线圈，并用理线板撬开端部线圈，将断开处焊接牢，包扎绝缘，涂环氧胶。

③ 断路点如果发生在槽内，不管是上层线圈断路还是下层线圈断路，处理方法同短路故障相同。

〔4-15〕修理后的电动机造成绕组接地故障如何检查和处理？

答：通常电动机的机座是接地的，而定子铁心与机壳直接（金属）接触，所以铁心也是接地的。绕组内要导通电流，必需使绕组与铁心或机座绝缘，如果有的线圈绝缘破坏，使金属导体与铁心或机座接触，便造成绕组接地故障。接地一点，电动机仍能运行，但一旦人触及电动机机壳时便要触电，对人身很不安全，如果绕组有两点及以上接地时，电动机就会产生故障现象，

如振动、三相电流不平衡、局部发热等等，因此在使用电动机时，一定要用检电笔检查电动机机壳是否漏电。

（1）造成修后电动机接地的原因：

① 线圈做短，嵌线困难。嵌线中为了端部线圈整形，必需将端部线圈向下压形，结果使伸出槽口部分的线圈将槽绝缘压破，槽口冲片切断槽绝缘后，便与伸出槽口的线圈接触或刺破线圈绝缘，造成线圈接地故障。

② 线圈做长，端部线圈与端盖接触，端盖通过机壳与地相接。

③ 槽绝缘有损伤。

④ 引出线在出线盒处接地。

⑤ 铁心槽部冲片有尖角、毛刺，刺破绝缘，造成线圈接地。

⑥ 槽绝缘材质不好；尺寸不符；嵌线时槽绝缘移动。

⑦ 绝缘受潮，空载试验时槽绝缘被击穿，造成线圈接地。

（2）检查方法：可采用试灯、摇表、万用表，以及外观检查。采用试灯检查时，将试灯的一端接在机壳上（机壳表面打磨干净，使试灯端与机壳接触良好，否则测试不准），其另一端接在引出线端U_1、V_1、W_1。如果灯亮则表明绕组有接地点，如果灯泡忽明忽暗，则表明虚接地点。然后拆开三相绕组，每相分别测试，如果确定出某一相有接地故障，则用淘汰法，再找此相各极相组线圈，看哪个极相组接地，最后再查出某个线圈接地点。

如果用摇表检查时，摇表一端接机壳，一端接绕组端头，如果摇表指示为零，则说明绕组有接地可能。这时，再用万用表测量接地绝缘电阻值，将万用表的选择开关拧在欧姆档上进行检查，这时万用表也指示为零，则确信绕组接地；如果万用表指示不为零，则说明电动机绕组可能受潮或绕组通过绝缘不太好的绝缘物与机壳相连。

当绕组接地点不易判断出来时，可采取高电压击穿的办法，将接地点击穿，有火花或烟出现，根据冒火和冒烟的位置，便可判断出故障点来。

（3）处理方法：槽口绝缘破裂造成线圈伸出铁心处接地故障时，可将线圈加热软化，然后将伸出槽口的接地线圈用工具抬起，将接地处的导线与铁心之间插入绝缘纸板，检查无接地现象后，涂上环氧胶，将抬起的线圈绑扎固定好即可。

如果绕组受潮，可再继续烘干，一直到绝缘电阻符合要求为止。

接地点如果发生在槽内，要按照处理短路线圈的方法进行处理。

〔4-16〕 修理后的电动机造成绕组接反的故障时如何检查和处理？

答：修理时造成绕组接反的故障包括：（1）某相内的某极相组接反。（2）相绕组接反。（3）某极相组内串联的线圈接反。

当三相绕组的某一相接反时，在试空载时会发现空载电流很大，且严重不平衡，转速低，伴有噪声和振动，时间一长，由于电动机发热烧焦绝缘产生冒烟现象。

判断和检查相绕组接反的方法很多，比如试灯法、电压表法万用表法等等，但最适合于修理单位的简便的方法是采用干电池和毫伏表（或用万用表）测试方法。具体操作如下。

（1）首先用万用表查出每相绕组的两个端头。将万用表的选择开关拧在电阻档上。将三相绕组的6个引出线端中的任一个端头与万用表的某一端接上，然后将万用表的另一端分别测试剩下的绕组的5个端头，如果测出某二个端头电阻最小，则认为这个端头与万用表另一端头的绕组端是一相绕组的两个端头。同理，可将三相绕组的每相绕组的两个端头全部找到，但尚不知哪个端头是起端，哪个端头是尾端。

上面测试方法也可用灯泡或摇表检查，灯亮或摇表指示为零，则表示这两个端头是一相绕组的两个端头。

（2）下一步是查明每相绕组的首尾端。按图4-1接线。首先在某一相绕组串入干电池(3V左右)和开关K，另外一相绕组接入毫伏表或万用表的毫安档。合上开关K瞬间，毫伏表的指针应指

向正方向，大于零，否则要将毫伏表的两个表笔调换一下，使表针指向正方向为止，这时电池的“+”极与表头的“—”极是两相绕组的同名端，即是这两相绕组的头或同是两相绕组的尾。按上述办法，再试其余相，便可找出三相绕组的头尾端。

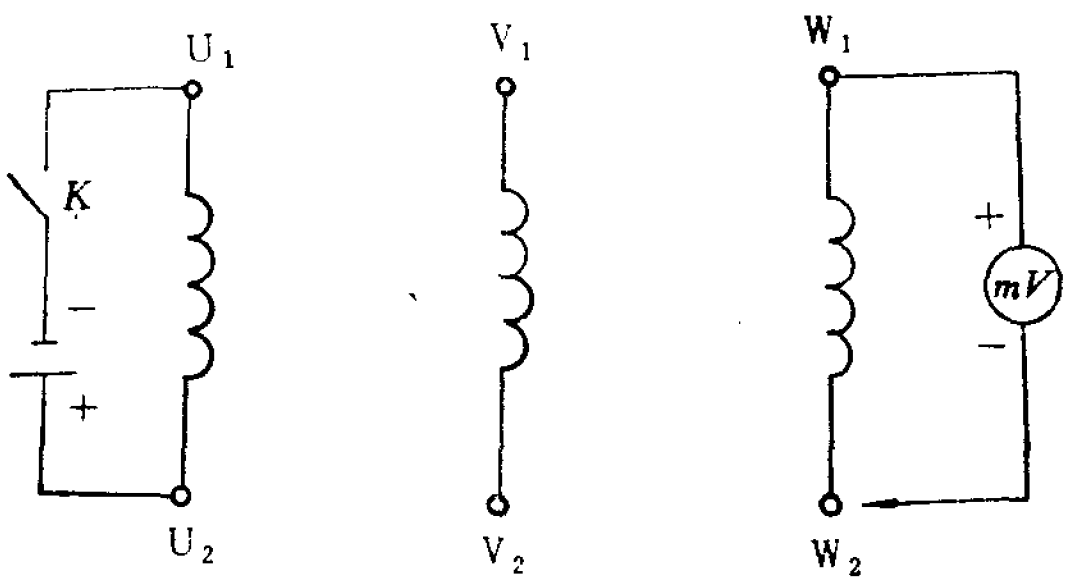


图4-1　三相绕组首尾判断法

对于多速电动机绕组采用上述办法也可找出各绕组的首尾端，不过稍麻烦一点。

检查极相组或单独线圈是否接反的方法是先将三相绕组连接线拆开，在某一相内接入6 V左右的干电池或蓄电池，然后用指南针沿定子铁心内圆周缓慢移动，观察每个极相组的磁极的极性。正常时的规律是每经过一个极相组（或叫线圈组）磁极的极性变化一次，也就是指南针按N、S、N、S…变化。如果不是按这个规律变化，比如指南针表示N、S、N、N…则说明第四个极相组接反了，应该是S，指南针反应出为N。

为了进一步查找第四个极相组中到底是哪个线圈接反还是整个极相接反了，再用指南针细心检查，当发现在此极相组内某一线圈处指南针摇摆不定，则表明这个线圈接反了。

一般极相组数大于1（$q>1$），如果当$q=1$时，则极相组接反就意味着这个线圈接反了。

〔4-17〕　交流电动机绕组嵌线时，绕组绝缘遭受损伤的原因

有哪些？如何处理？

答：嵌线时绕组绝缘遭受损伤的原因和处理方法如下。

（1）铁心清理方面：

① 铁心槽内有毛刺和凸出的冲片。

② 铁心槽内有金属屑、电焊渣、焊锡等杂物。

③ 铁心槽口有尖角、毛刺。

首先检查铁心槽内情况，用锉刀或扁铲清除槽内铁心毛刺和凸出冲片，以及各种杂物，嵌线前还要用压缩空气吹净槽内残余杂物和灰尘。

（2）电磁线和绝缘材料方面：

① 电磁线质量不合格，如高强度漆包导线的漆皮易剥落；导线未经退火，绕制时太硬，丝包线有断丝、破裂等问题。

在绕线前必需仔细检查磁线质量，否则不能使用。

② 绝缘材料质量不合格，槽绝缘机械强度不够，耐电压性能不好等。

（3）施工工艺方面：

① 线圈伸出铁心的直线部分长度不够，这可能是木模做小或利用旧模不适合这台电动机的情况（铁心较长），解决办法是增加出铁心槽口的直线长度；如果短的不太多，可在按喇叭口时多注意，否则易把槽口绝缘压破。

② 出铁心槽口处绝缘强度不够，未能增强槽口处绝缘，应该在出槽口处补强绝缘办法和在槽口下加放绝缘衬垫的办法解决，比如槽绝缘下料时长度加长，然后在槽口处把多余的部分折叠回来，使出槽口处绝缘纸增厚。

③ 高压硬线圈拉形时线圈角度不正确，嵌线时由于角度不合适产生“啃槽”现象。

④ 槽满率过高（大于80%），嵌线时硬往槽内嵌，造成匝间绝缘压破。

⑤ 虽然槽满率不太高，但嵌线时方法不当，造成线匝在槽内排列不整齐或交叉，造成匝间短路。

〔4-16〕 高压定子线圈嵌线时发生对地击穿的原因都有哪些？

答：

（1）高压电动机定子线圈绝缘后的尺寸与槽形尺寸不符而造成对地击穿，通常有两种情况：

① 槽形尺寸不一致，嵌线圈前未经过用槽样棒校正槽形，虽然线圈制造的尺寸公差正确，但对于变形较大的铁心槽嵌线发生困难，如果这时硬将线圈打入槽内，会造成线圈绝缘损伤。

② 槽形尺寸虽然一致，但线圈绝缘后的尺寸不一致，如个别线圈变形、中心角发生扭变、绝缘松胀等，均会造成嵌线困难，硬打入槽内也会损伤线圈绝缘。

（2）线圈各匝导线在整形时没有整制平坦，未能使各匝导线服贴，个别导线变形，虽然包扎对地绝缘经热压处理固化，但不平处的间隙内仍存有空气，会在试验耐压时空气游离，造成对地击穿。

（3）热压工艺参数不合适，比如在热态下快速模压，使胶液流失，使线圈匝间发空。再有热压模尺寸设计不良，不能保证线圈在热压时成为坚实的整体。当压模在高度方向压的过紧，在宽度方向压的过松，就会造成在高度方向上压破绝缘，在宽度方向胶液不能充满绝缘缝隙内部。在设计热压模尺寸时，要考虑导线规格，是双玻璃丝还是高强度漆包导线，前者易吸胶，后者不易吸胶，均会造成各匝间发空。

（4）手工包扎对地绝缘时，由于云母带包扎不均匀，松紧不一致，或有起皱现象，在线圈转弯处包扎不完善，均会造成线圈对地击穿。

（5）线圈分把用力过猛，使线圈遭受机械损伤，所以，最后嵌槽的几只线圈发生对地击穿。

（6）包扎线圈鼻端绝缘与直线部分搭接不正确，比如包扎不紧、层数少等，在搭接处易发生对地击穿。

（7）线圈引出线的转弯处尺寸不正确，连接线时造成扭伤，

易发生引线击穿。

（8）包扎绝缘的周围环境不干净，有其他杂物混入线圈内部等，均会造成高压线圈在嵌线试验时发生对地击穿故障。

〔4-19〕 低压电动机绕组重绕时质量检查内容和标准都有哪些？

答：

（1）定子绕组方面：

① 要求重绕线圈所用的线规、牌号应符合工艺要求。

② 绕制成的线圈匝数要准确，各线匝之间紧密整齐，线匝平直，无绝缘损伤现象。

③ 线圈外形尺寸正确，符合图纸或原始记录要求。

④ 引线材质和长度符合图纸或原始记录要求。

⑤ 绝缘套管长度和规格应符合要求。

⑥ 对于硬绕组定子线圈，外观检查时要求直线部分光滑平直，拐角处过渡均匀平滑，线圈两端部对称，包扎紧密，搭接位置正确，斜边形状一致。

⑦ 对于硬绕组定子线圈尺寸公差要求：总长为±5mm，节距为±2mm，端部抬高±3mm，槽部尺寸公差要求宽度为±0.2mm、长度为±0.3mm。

⑧ 制作过程中应严格遵守制造工艺守则。

⑨ 所有线圈成品应能承受电气试验项目检查合格。

（2）转子导条绕组：一般采用插入式导条转子线圈，对于散嵌绕组线圈的要求，可参考定子散嵌绕组的要求内容。

① 新制作扁铜线导条时，要求扁铜线规格符合要求，下料后的导条要进行调直，下料长度公差$\pm\begin{smallmatrix}2\\0\end{smallmatrix}$mm。

② 利用旧扁铜线制作线圈时，扁铜线要经过调直，无弯曲现象，长度公差为$\pm\begin{smallmatrix}4\\2\end{smallmatrix}$mm。

③ 退火后的扁铜线应呈红樱色，表面无氧化皮和黑斑。

④ 扁铜线端头搪锡要求：搪锡前铜线的端头要处理干净，焊

锡牌号应符号要求。如果采用磷铜焊料或磷银焊料进行钎焊时，可不用搪锡。

⑤ 要求扁铜线端部弯制的角度、弧度尺寸应符合图纸或原始记录，制造出的导条并排放在平台上时，要求各导条形状和尺寸一致。

⑥ 包扎绝缘前，要清理铜条表面应无毛刺和损伤。

⑦ 包扎线圈绝缘的材料规格和牌号应符合要求。

⑧ 要求绝缘包扎均匀、紧密、平坦，无皱纹，绝缘层数和厚度应符合图纸或原始记录要求。

⑨ 包扎绝缘位置和尺寸应正确。

⑩ 引线长度偏差小于 5 mm，两引线要平直，拐角和鼻部形状要一致，绝缘表面平整，匝数正确，直线部分要光滑平直，拐角处过渡要均匀光滑。端部斜边形状应一致，两端对称，搭接正确，绝缘无损伤，线匝排列要整齐、紧密。

〔4-20〕 高压电动机的圈式线圈重绕质量检查内容和标准都有哪些？

答：

（1）线圈在重绕过程中要求：

① 电磁线规格和牌号应符合要求，电磁线绝缘良好，无损伤和变质情况。

② 绕制线圈的匝数要准确，排列平整、紧密。

③ 包扎的保护带要紧密平整。

④ 线圈拉形后尺寸应符合要求，拐角处要平整。

⑤ 线圈经整形后要求线圈各部分平整，绝缘无损伤，线圈几何尺寸及鼻端形状与样品线圈或图纸一致。

⑥ 试嵌线时，要求线圈在嵌入槽时应顺利，无卡角现象，各线圈端部斜边形状一致，相邻线圈空隙间隔均匀。

⑦ 线圈引线长度应正确，剥开绝缘后画出的长度应符合要求。

⑧ 引线距鼻端距离要符合工艺规定，一般是：

3 kV级：距离为 3 ～ 4 m m

6 kV级：距离为 4 ～ 5 m m

10kV级：距离为 5 ～ 6 m m

⑨ 用沥青漆胶粘带要求匝间粘结紧密，表面无漆瘤，拐角处平整光滑，匝间绝缘无剥落和损伤现象。

⑩ 线圈包扎云母带时，要求半叠包均匀、紧密、无皱纹。

⑪ 线圈包扎云母带后，槽部尺寸公差可用卡尺检查，宽度 $\pm^{0.1}_{0.2}$ m m，高度 $\pm^{0.2}_{0.3}$ m m。

（2）线圈经热压做成成品后的检查内容和标准：

① 线规、牌号、匝数和绕法应符合图纸或原始记录规定。

② 线圈直线部分表面光滑、平整紧密，无发空现象，绝缘表面光泽、均匀、无损伤、无皱纹和裂痕。线圈截面形状正确，无锐角、卷包、棱角、梯形等现象。

③ 线圈拐角处光滑无棱角。

④ 线圈端部绝缘完好，无损伤，无鼓包和皱纹，不发空。线圈两边对称，斜边角度一致。

⑤ 线圈尺寸公差：线圈总长 $\pm^{5}_{0}$ m m，两端伸出槽口长度 ± 3 m m，线圈节距 ± 2 m m，端部抬高 ± 3 m m。

⑥ 线圈截面尺寸公差：槽部宽度 $\pm^{0.1}_{0.2}$ m m，高度 $\pm^{0.2}_{0.3}$ m m，端部宽度 ± 2.5 m m，高度 ± 2.5 m m。

⑦ 线圈中心角尺寸，直线边最大间隙为零，不直度不大于 0.3%。

〔4-21〕 高低压定子绕组的嵌线质量检查内容都有哪些？

答：

（1）嵌线前应检查被嵌入的线圈质量和绝缘材料是否符合要求，同时检查嵌线所需工具是否完备。

（2）嵌线前，应将铁心表面、槽内以及机壳清理干净，不许有油垢、尘土和其他杂物，特别要清理槽内残余绝缘、毛刺和

歪倒的硅钢冲片，要求齿压板完整，不开焊和脱落，铁心处于干燥状态，同时要检查线圈是否符合要求。

检查端箍位置、尺寸以及绝缘是否符合要求，端箍形状应与定子内圆同心。

（3）要求下列电动机绕组端部要加强绝缘，绝缘方式是采用包扎端部一半：一般容量在15kW及以上的双层叠绕组；JO2系列22kW及以上的双层叠绕组；2～4极的10kW以上的双层叠绕组。下列电动机要求全包端部，以加强绝缘：一般容量在100kW及以上的双层叠绕组；2～4极电动机绕组；容量在75kW及以上的双层叠绕组；JZR系列容量在45kW及以上的定子绕组；JZR 2系列容量在80kW及以上的定子绕组。

加强绝缘的绝缘带包扎要紧密。全包时，要求绝缘带的完头应包入槽绝缘内部；半包时，要求绝缘带的首、尾端排列整齐一致。线圈的线头引出位置应从下层斜边引出。

（4）要求线圈在槽内的位置正确，节距正确，两端伸出长度相等，偏差小于3mm，对地绝缘良好，无裂纹和损伤。软线圈喇叭口成型要正确，其内圆大于铁心内圆表面，其外圆大于铁心外圆。要求线圈排列整齐，漆膜完好。

（5）垫条伸出铁心两端的长度要相等，无松动现象。软绕组槽绝缘伸出铁心的长度为6～15mm，要求两端伸出长度相等。槽绝缘的封闭，必须将重叠包合部分压紧，不露出槽口，层间垫条长度应比线圈直线部分长出5～10mm。端部相间绝缘应整齐、垫牢，比线圈端部长出2～3mm，并修剪光滑。相间绝缘内部应与槽绝缘靠齐，且与层间绝缘重叠。

（6）槽楔材质、尺寸、形状和厚度等应符合要求，槽楔在槽内固定牢靠，用手指应推不动，用手锤敲打槽楔应无空声。槽楔伸出铁心两端长度相等，偏差小于1mm。槽楔不许高出铁心表面。

（7）高压电动机线圈端部斜边间隙应一致，排列整齐，端箍固定良好，绑扎道数符合规定，绑扎要牢固。测温元件的直流

电阻应符合要求，元件位置和数目应符合图纸要求。

（8）电气试验要合格。

〔4-22〕 高低压定子线圈接线检查内容有哪些？

答：

（1）电源引出线长度合适，电缆规格正确，接头焊接牢固，出线端标志正确，字迹清晰。

（2）要求定子线圈接线正确，出线端板、绝缘子、线夹要完备，并固定可靠。

（3）电动机内部干净，无杂物存在。

（4）要求线圈之间的连接线相距均匀，有足够的爬电距离，排列要整齐。

（5）各线圈的焊接头无毛刺和无氧化物。多根并绕的连接线，焊接要牢固，绝缘无损伤。所有连接线要长短统一，排列间隔一致。

（6）电气性能要符合要求。

〔4-23〕 绕线转子和笼型转子绕组检查内容有哪些？

答：

（1）绕线转子绕组修理检查内容：

① 新制扁铜导线规格和下料尺寸应符合图纸或原始记录要求，下料长度公差为$^{+2}_{-0}$ mm。如果利用旧线时，其公差为$^{+4}_{-2}$ mm。退火质量要满足要求，表面无氧化膜，硬度要符合规定。

② 扁铜导线平直，无弯曲变形，端头搪锡长度应符合要求，锡面要光洁、无锡瘤，焊锡牌号应符合要求。如采用磷铜和银磷铜焊料时，端头不搪锡，旧线的残锡也要彻底清理干净。导线端部弯制的角度、弧度应符合图纸或原始记录要求。

③ 导线包扎绝缘前，要求导线表面干净、无毛刺和氧化膜。采用绝缘的材质、规格和牌号应符合要求。包扎要均匀，包扎层数和位置要正确。包后导线表面应平整、无皱纹，尺寸

合适。

④ 嵌线前，要清理铁心，不许有油污、尘垢和毛刺。槽形正确，无倒齿和扭偏现象。齿压板焊接牢固。

⑤ 转子支架绝缘应牢固绕紧，绝缘伸出支架的长度在5mm以上。要求支架绝缘外圆平整，厚度与槽底相平或稍低些。槽绝缘和槽内垫条要安放正确，伸出铁心长度应一致，偏差小于5mm。相邻槽之间伸出长度的偏差小于3mm。

⑥ 硬扁铜线插槽的松紧程度要合适，不许损伤绝缘，端部包扎牢靠。穿入的扁铜线端部弯形后，两端留出的长度要一致，相差小于2～3mm。硬绕组相间绝缘要可靠扎紧，不高出线圈。软绕组相间绝缘垫尺寸和位置要适当。

⑦ 槽楔应固定牢固，无缺陷。

⑧ 扁铜线焊接应可靠，缩入并头套的深度不大于1.5mm。并头套内铜楔质量应合乎要求。导线与并头套间的间隙为0.1～0.3mm，不可过大。焊接后的表面要光滑、无毛刺和无虚焊现象。焊后线圈绝缘和相间绝缘应没有烧焦现象。软绕组焊后要求焊头清洁、无杂物和焊透，质量符合规定。

⑨ 绕组的绑扎一律改为无纬带，要求层数和宽度正确，两边均匀，表面平整，绑扎外径要小于铁心外径4mm以上。用手锤敲击时应有金属声、无散丝、无发空现象。

⑩ 要求引出线的电缆品种、规格和长度符合规定，固定引出线的卡子要完整、固定可靠、位置正确、绝缘良好。胶套软电缆穿入轴内时应有保护套或其他保护措施，从轴孔中引出处应有保护箍。

⑪ 转子并头套绝缘应包扎紧密、整齐，不许连续包扎。靠根部的包扎绝缘不许松散。相间并头套绝缘应加强。

⑫ 平衡块固定要牢靠，平衡试验应合格。

⑬ 电气试验应合格。

（2）笼型转子绕组修理检查内容：

① 铜笼条与槽配合良好，不松动，与端环焊接要牢固，焊缝

饱满，无开裂现象。铸铝转子修补质量要可靠，表面应修平和无焊瘤存在等。

② 平衡块固定位置要正确、固定牢靠，并有防松装置。螺旋桨风扇应无裂纹和损伤等缺陷。

③ 用碱水清洗铸铝转子时，要求残铝溶化彻底干净，然后经自来水清洗后干燥处理。

〔4-24〕 电动机修理重新更换铁心时，如何考虑硅钢片涂漆问题？

答： 对于烧毁严重无法修理的电动机铁心，特别是国外引进的无备品备件的电动机，在有条件的电机修理单位往往是自行设计冲制模具并冲制铁心冲片，这时要碰到铁心硅钢片是否需要涂漆和涂什么牌号绝缘漆的问题。

硅钢片涂漆的目的，是为了减少铁心中涡流损耗。因此，设备较完善的电机修理单位都有自己的涂漆设备，通常采用的绝缘漆一直沿用传统的40年代的1611绝缘漆，这种涂硅钢片用的绝缘漆耐热性差，属A级绝缘，只适用于热轧硅钢片。同时这种漆的绝缘性能也差，耐湿性和附着力也不足。因此，不适于B级及以上的绝缘等级电动机使用。

经调查，目前国内个别电机修理单位不但在热轧硅钢片上使用1611漆，在冷轧硅钢片上也用。这是不合理的，因为冷轧硅钢片出厂时业已涂过特殊的玻璃薄膜涂层。这个涂层具有耐热性能(750～800℃)，绝缘性能、机械性能均好，尤其这层薄膜还具有较好的导磁性能，有较高的磁感应，有较大的表面张力，提高磁致伸缩性，使电磁噪声降低5～7dB。另外，可节省模具磨损，延长磨具寿命3～4倍。

电机修理单位对于冷轧硅钢片还要重复涂绝缘漆的原因，一是考虑去毛刺后硅钢片表面涂层被破坏、剪切部分无涂漆层，所以重复涂一次绝缘漆；二是不知道冷轧硅钢片出厂时又经涂漆了，不需要再涂了。

涂1611绝缘漆耐热只有90℃，用在F、H级电动机的铁心中

显然是不合理。如果要涂漆，必需选用合理的牌号漆。如上海电机厂采用 CH52-1 硅钢片绝缘漆，耐热性 187℃，用于冷轧硅钢片上，哈尔滨电机厂采用 9163 和 3404 绝缘漆、耐热性分别为 152～170℃和120℃，均可使用在冷轧和热轧两种硅钢片上。

电机修理单位如果使用冷轧硅钢片时，建议：

（1）不进行涂漆。毛刺标准可从 0.05mm 放宽到 0.10mm，只要模具能够保证在这个范围内，就不必去毛刺，因此就无必要再涂漆。

（2）如果毛刺超标，可选用不破坏涂层的去毛刺办法，如采用沙袋振动式去毛刺机。

（3）在进行涂漆时，建议选用新型号绝缘漆，不能再用40年代老传统的1611绝缘漆。对于F级绝缘电动机，可选用 9163 漆（152～170℃），也可选用CH52-1漆（耐热187℃）用在H级电动机上；B级电动机可选用3404漆（120℃）。

在涂漆时，要求硅钢片的涂层厚度最薄，漆表面颜色均匀，表面光亮，附着力强，漆膜应有耐油，耐腐蚀能力，同时要有较高的耐热性和耐潮性能。

〔4-25〕 修理电动机时铁心质量如何进行检查和试验？

答： 运行多年的电动机铁心，长期遭受电磁力和热胀冷缩作用，使硅钢片绝缘逐渐老化，导磁性能降低，铁耗增加。另外，由于拉紧螺栓绝缘套管破裂或失去绝缘性能，硅钢片某些片间绝缘失效，在铁心内部形成局部短路，在交变磁场作用下，感应出较大的短路电流，造成电动机铁心过热和烧熔故障。因此，对于铁心故障严重的电动机在检修前，要详细检查铁心质量。

（1）外观检查。用手锤轻敲铁心端部，是否有因松动而发出哑音。如果铁心松动，这时会在冲片缝隙之中喷出灰尘和锈粉。还要检查铁心齿压板是否开焊，铁心冲片是否移位；铁齿是否倒倾和扇张现象。

（2）铁损耗试验。试验目的是在重绕前，为了确定重绕的合理方案。即要事先确定铁心质量情况、查明铁心故障（比如局

部过热位置），确定铁心修理方案、查明单位损耗、铁心表面温差和铁心故障等，根据具体情况，定出施工方案。

（3）试验方法。试验线路图如图4-2所示。铁心上缠绕两套互相垂直放置的线圈，一套是为了建立磁场用的励磁线圈W_L，另一套是测量线圈W_B，每套线圈的线匝分布应均匀。如果铁心与机壳之间有通风孔时，线圈不必绕过机壳，只要绕过铁心即可。

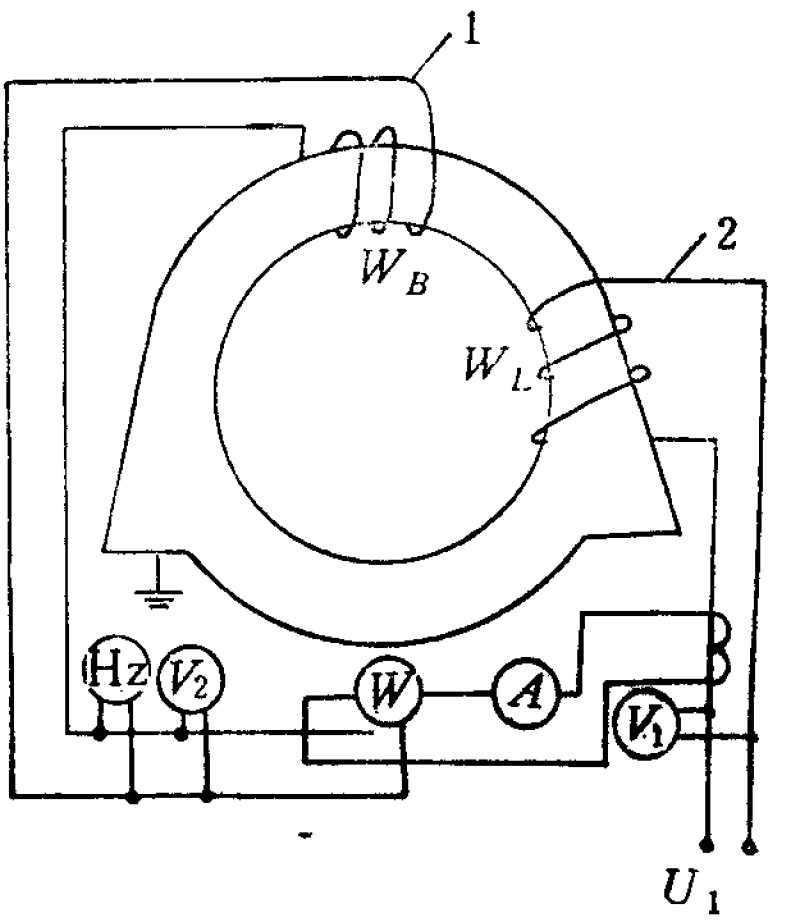


图4-2　铁心试验线路图

1—测量线圈　2—励磁线圈

按计算出的数据绕好励磁线圈后，将电源电压U_1加在励磁绕组上，调电压U_1大小，使测量线圈感应的电压U_2达到计算值。这时铁轭磁密达到计算值（1 T）。

试验时，瓦特表W要用低功率因数瓦特表，其电流线圈与励磁绕组串联，其电压线圈与测量绕组并接。全部仪表联接好后，便可通电做试验。要测量电压，电流、损耗值、温度等。

（4）测量线圈和励磁线圈的计算。

①　铁心净长：

$$l_{Fe}=K(l-nb)\text{(cm)}$$

式中　K——铁心叠压系数，不涂漆时，用0.95；涂漆时，用0.92～0.93

l——铁心总长（不包括齿压板）（cm）

n、b——分别表示径向通风沟的沟数和沟宽（cm）

②　铁轭截面积：

$$S_e=l_{Fe}h_{el}\ (\text{cm}^2)$$

式中　h_{el}——铁轭高度（cm）

③ 电源为工频情况下，采用铁轭磁通密度为1 T时，线圈每匝感应电势：

$$e = 222S_c 10^{-4}\ (\mathrm{V})$$

④ 测量线圈的电压值：

$$U_2 = W_c e\ (\mathrm{V})$$

式中 W_c——测量线圈的匝数，取整数

⑤ 励磁线圈电压 U_1：

如无调压器，应选择电源电压（如220V）

$$U_1 = K_1 W_1$$

式中 K_1——励磁线圈漏抗压降系数，取1.05～1.30

W_1——励磁线圈的匝数，取整数

⑥ 励磁电流 I_1 的估算：

$$I_1 = \frac{1}{W_1} a_w \pi (D_1 - h_{c1})\ (\mathrm{A})$$

式中 D_1——铁心外径（cm）；

a_w——铁心通过磁通密度为1 T时所需的磁场强度，可由应的硅钢片磁化曲线查到，一般取2.2～3A匝/cm，对于大型电动机宜选大些。

励磁线圈和测量线圈的截面积按相应的电流值选取，一般电流密度在2～4 A/mm^2。

试验时，先通电15min左右，用点温计或手摸铁心表面各部温度（注意：摘去手表，以防磁化），找出最高和最低点，准备埋设酒精温度计。如有点温计，也可直接用点温计测量。每隔15min测量损耗（瓦特表读数）、电压、电流、铁心各部温度以及室温，通电90min后，试验结束。

修理实践表明，采用1 T试验铁损耗时，效果不甚明显，另外，单位损耗允许值规定太宽，往往有严重缺陷的铁心，经铁损耗试验后，铁损耗值还在允许范围内，所以有必要改进试验方法和标准。

建议采用1.2～1.4 T，试验时间由90min改为45min。实践

证明，效果良好。

（5）铁心材料。电动机铁心采用硅钢片制造，按其制造工艺不同分为热轧和冷轧钢片两种。电动机上所使用的硅钢片厚度有0.5、0.35mm两种。

常用的硅钢片主要应用范围如表4-1所示。

表4-1　常用硅钢片的主要应用范围

产品名称	热轧						冷轧无取向*				冷轧单取向**			
	D21	D22	D23	D32	D42	D43	W21	W22	W32	W33	Q3	Q4	Q5	Q6
大型交流发电机					✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
大型交流电动机					✓	✓			✓	✓				
大型直流电动机	✓	✓	✓				✓	✓						
中型交流电动机	✓	✓	✓	✓			✓	✓						
中小型直流电动机	✓	✓	✓	✓			✓							
小型交流电动机	✓	✓	✓				✓	✓						
驱动微电机	✓													
控制微电机			✓	✓	✓		✓		✓					

注：*冷轧无取向：硅钢片的导磁率没有方向性。

**冷轧单取向：硅钢片的导磁率与轧制方向有关，沿轧制方向的导磁率最高，其他方向就低，与轧制方向垂直的导磁率最低。

（6）铁心质量要求：

① 铁心无松动现象。

② 铁心各齿槽的最大温差应小于30K，最高温升小于45K。正常铁心的最高温升低于25K，最大温差小于10K。

③ 铁心单位损耗$P_{耗}$不允许超过比损耗P_{10}/P_{50}的保证值的1.3倍。单位损耗计算：

$$P_{耗}=\frac{P_{耗}'}{G_c}\left(\frac{U_2}{U_2'}\right)^2\leqslant 1.3P_{10}/P_{50}\ (\mathrm{W/kg})$$

式中 $P_{耗}'$——铁耗实测值（W）

U_2'——测量线圈的电压实际测量值（V）

U_2——测量线圈的电压计算值（V）

G_c——铁心净重（kg）

$$G_c=\pi(D_1-h_{c1})S_{cr}10^{-3}\ (\mathrm{kg})$$

表4-2　电机工业中常用硅钢片的磁性能

硅钢片品种		型号	厚度 (mm)	叠装系数 (%)	弯曲次数	铁损W/kg不大于			不同磁场强度下磁感应强度值(不小于)								密度 (g/cm²)
									B_{10}		B_{25}		B_{50}		B_{100}		
						$P_{10/50}$	$P_{15/50}$	$P_{17/50}$	Wb/m²	T	Wb/m²	T	Wb/m²	T	Wb/m²	T	
热轧硅钢片		D21	0.50	92	—	2.5	6.1		—	—	1.48	1.48	1.59	1.59	1.73	1.73	7.70
		D22	0.50	92	—	2.2	5.3		—	—	1.51	1.51	1.61	1.61	1.74	1.74	7.70
		D23	0.50	92	—	2.1	5.1		—	—	1.54	1.54	1.64	1.64	1.76	1.76	7.70
		D32	0.50	91	4	1.8	4.0		—	—	1.50	1.50	1.61	1.61	1.74	1.74	7.65
		D32	0.35	90	5	1.4	3.2		—	—	1.50	1.50	1.61	1.61	1.74	1.74	7.65
		D42	0.50	91	1	1.35	3.15		—	—	1.45	1.45	1.56	1.56	1.68	1.68	7.55
		D43	0.50	91	1	1.29	2.90		—	—	1.44	1.44	1.55	1.55	1.67	1.67	7.55
		D42	0.35	90	1.5	1.15	2.80		—	—	1.45	1.45	1.56	1.56	1.68	1.68	7.55
		D43	0.35	90	1.5	1.05	2.50		—	—	1.43	1.43	1.54	1.54	1.66	1.66	7.55
冷轧硅钢片	无取向	W21	0.50	96	—	2.3	5.3		—	—	1.54	1.54	1.64	1.64	—	—	7.75
		W22	0.50	96	—	2.0	4.7		—	—	1.52	1.52	1.62	1.62	—	—	7.75
		W32	0.50	95	5	1.6	3.6		—	—	1.50	1.50	1.60	1.60	—	—	7.65
		W33	0.50	95	5	1.4	3.3		—	—	1.50	1.50	1.60	1.60	—	—	7.65
		W32	0.35	94	5	1.25	3.1		—	—	1.43	1.43	1.53	1.53	—	—	7.65
		W33	0.35	94	5	1.05	2.7		—	—	1.43	1.43	1.53	1.53	—	—	7.65
	单取向	Q3	0.35	95	3	0.7	1.6	2.3	1.67	1.67	1.80	1.80	1.86	1.86	—	—	7.65
		Q4	0.35	95	3	0.6	1.4	2.0	1.72	1.72	1.85	1.85	1.92	1.92	—	—	7.65
		Q5	0.35	95	3	0.55	1.2	1.7	1.76	1.76	1.88	1.88	1.92	1.92	—	—	7.65
		Q5	0.35	95	3	0.44	1.1	1.51	1.77	1.77	1.92	1.92	1.96	1.96	—	—	7.65

式中　P——硅钢片密度（g/cm³）

P_{10}/P_{50}——频率为50Hz的磁通密度为1 T时的铁心比损耗的保证值。良好的铁心，$P_{耗}$为P_{10}/P_{50}的1.1～1.2倍（查表4-2）。

铁耗过大，但铁心温度均匀，说明铁心有整体缺陷。

〔4-26〕 电动机修理后试验项目和标准都有哪些项？

答：电动机修理后，要做绝缘电阻、直流电阻的测试，对于更换绕组的电动机还要做工频耐压试验，对于高压电动机经检修后如果要求做工频耐压试验时，最好先做一次泄露电流测定，如果泄露电流很不正常，那么要考虑是否要做工频耐压试验，或者适当降低耐压值。另外，还要做电动机的匝间耐压试验、介质损失角的正切试验等等。下面分别介绍其试验要求和标准。

（1）绝缘电阻测试要求：

① 兆欧表电压等级按表4-3选择。

表4-3　兆欧表电压的选用

电动机额定电压(V)	兆欧表电压(V)
500以下	500
500～3000	1000
3000以上	2500

② 未经干燥的检修电动机，允许最低绝缘电阻值按表4-4规定。

表4-4　未经干燥的检修电动机允许最低绝缘电阻值

电动机额定电压(kV)		绝缘电阻(MΩ)
定　子	0.5以下	0.5
	3～6	1 MΩ/kV
转　子	3～6	0.3MΩ/kV

③ 重绕或解体干燥以及新装的电动机，在接近75℃时的绝缘电阻M_{75}不应低于下面公式的计算值。

$$M_{75}=\frac{U_N}{1000+\frac{P_N}{100}}\ (\mathrm{M\Omega})$$

但最小为0.5MΩ。

④ 各相绝缘电阻不平衡系数不应大于2；绝缘电阻值在相近条件下（温度、湿度相同），如果降低至初次（交接和大修时）测得结果的$\frac{1}{3}$～$\frac{1}{5}$时，应查明原因，设法消除。

（2）直流电阻试验标准：

① 1.5kW以上定子线圈相间直流电阻与历年比较相差不应大于2 %；2.5kW以下定子线圈相间直流电阻与历年比较相差不应大于2%～5%；1000 V 以上或 100kW 以上电动机各相间直流电阻差别不应超过 1 %。

② 转子线圈各相直流电阻相互差别不应超过最小值的2%，并与历年相比较不应大于2%。

③ 绕组应在实际冷却状态下测试，机温与周围温度不大于 3 ℃。

④ 某相电阻最大值减某相电阻最小值与该相平均值之比应小于 2 %。

⑤ 所测结果按下式换算到同一温度进行比较：

$$R_2=\frac{K+t_2}{K+t_1}R_1$$

式中 R_2——换算成温度为t_2时的直流电阻（Ω）

R_1——温度为t_1时的直流电阻值（Ω）

K——系数，铜材为235，铝材为225。

（3）泄露电流的测定：

① 定子绕组直流耐压试验时，电压值按表4-5选择。

② 如果各相泄露电流差别大于30 %和泄露电流随试验时间而增加者，需要分析原因。

（4）工频耐压试验标准：

表4-5　直流耐压试验电压值

类　　别	试验电压(V)
全部更换线圈	$3U_N$
交接或大修局部更换线圈	$2.5U_N$
小　　修	$2U_N$

① 局部更换定子线圈的工频耐压试验，按表4-6规定进行。

表4-6　局部更换定子线圈的试验电压(有效值)

序号	试验阶段	电动机额定电压(kV)	试验电压(V)
1	拆除故障线圈后，留下的旧线圈	3及以下	$2U_N+1000$
		6及以上	$2U_N+2000$
2	备用或修理后的旧线圈嵌线前	3及以下	$2.25U_N+2000$
		6及以上	$2.25U_N+3000$
3	备用线圈嵌线后与旧线圈连接前	3及以上	$2U_N+1000$
		6及以上	$2U_N+2000$
4	备用线圈与旧线圈连接后	0.5及以下	1200
		3	5500
		6	10500
5	整体装配完成	0.5及以下	1000
		3	5000
		6	10000

注：如果备用线圈为新制线圈，其试验电压应与重绕线圈相同。

② 定子绕组全部重绕的试验电压值，按表4-7进行。

③ 局部更换转子线圈的试验电压值，按表4-8进行。

④ 转子绕组全部重绕的试验电压值，按表4-9进行。

⑤ 不换线圈，仅吹风清扫和干燥的电动机，试验电压值按表4-10和表4-11进行。

⑥ 电动机匝间耐压试验

表4-7 定子绕组全部重绕的试验电压(有效值) (V)

试验阶段	1kW以下或电压低于36V	1kW～1000kW以下，电压高于36V，开口槽	1kW～10000kW，电压高于36V，半闭口槽或半开口槽	10000kW及以上，20000V及以下	10000kW及以上，2000～6000V	10000kW及以上，6000V～17000V
单个线圈	—	$2.75U_N+4500$	—	$2.75U_N+4500$	$2.75U_N+4500$	$2.75U_N+4500$
嵌线后	$2U_N+1000$	$2.5U_N+2500$	$2U_N+2500$	$2.5U_N+2500$	$2.5U_N+2500$	$2.5U_N+4500$
并头后	$2.25U_N+2000$	$2U_N+2000$	$2.25U_N+2000$	$2.25U_N+2000$	$2.25U_N+2000$	$2.25U_N+4000$
总装后	$2U_N+500$	$2U_N+1000$ 最低1500	$2U_N+1000$ 最低1500	$2U_N+1000$	$2.5U_N$	$2U_N+3000$

表4-8 感应电动机局部更换转子线圈的试验电压值

序号	试验阶段	电动机类别	试验电压(V)
1	故障线圈拆除后，留下的旧线圈	不可逆	$3U_{N2}$(不低于1200)
		可逆	$3.5U_{N2}$(不低于1700)
2	新旧线圈连接后	不可逆	$2.5U_{N2}$(不低于1500)
		可逆	$3U_{N2}$(不低于1000)
3	整体装配完成	不可逆	$2U_{N2}$(不低于1000)
		可逆	$2.5U_{N2}$(不低于1200)

注：U_{N2}—转子额定电压(V)。

表4-9 异步电动机转子绕组全部重绕的试验电压

电动机特征	试验电压（有效值）(V)			
	单个线圈	嵌线后	并头后	总装后
可逆电动机	$4U_{N2}+3000$	$4U_{N2}+2000$	$4U_{N2}+1500$	$4U_{N2}+1000$
不可逆电动机	$2U_{N2}+3000$	$2U_{N2}+2000$	$2U_{N2}+2000$	$2U_{N2}+1000$

表4-10　异步电动机定子绕组试验电压(10kW以上)

序　　号	电动机额定电压(V)	试验电压(V)
1	500及以下	1000
2	3000	4500
3	6000	9000

表4-11　异步电动机转子绕组试验电压

序　　号	电　动　机　类　别	试验电压(V)
1	不可逆	$1.5U_{N2}$(不低于1000)
2	可　逆	$2.5U_{N2}$(不低于1200)

电动机装配后，定、转子线圈的匝间绝缘应能承受$1.3U_N$的试验，历时 5 min 不击穿为合格。三相绕线型电动机，在转子静止及绕组开路时试验；笼型电动机，在空载时试验。

同步电动机转子的磁极线圈匝间绝缘耐压试验，为每匝 3 V 或每个励磁线圈额定电压的 10 倍（有效值）。试验应在压力下进行，电流不超过额定电流，持续时间 1 min。

每匝试验电压有效值与线圈匝间绝缘结构的关系如表4-12示。

表4-12　线圈每匝试验电压有效值

序号	线　圈　匝　间　绝　缘　结　构	每匝试验电压有效值(V)
1	双玻璃丝包铜线	300
2	双玻璃丝包高强度聚酯漆包扁线	500
3	双玻璃丝包扁线，匝间垫一层0.14mm云母带	500
4	单玻璃丝包聚酯薄膜导线(薄膜厚0.03mm，半叠二层)	800
5	双玻璃丝包扁线，隔匝半叠包0.14mm厚云母带一层	800
6	双玻璃丝包扁线，每匝半叠包0.14mm厚云母带一层	1000
7	双玻璃丝包单层聚酯薄膜绕包线	1200
8	双玻璃丝包扁线，每匝半叠包0.14mm厚云母带二层	1500

电动机匝间耐压试验，按表4-13规定进行。

（5）圈式或条型线圈介质损失角的正切试验标准：

① 介质损失角的正切tgδ是在0.5、1.0和1.5倍额定电压下测量。为了进行比较，要按下式折算到20℃时的数值：

$$tg\delta_{20℃} = k tg\delta_{t℃}$$

式中 k——温度修正系数，查表4-14。

② 在额定线电压下测量tgδ值不应超过表4-15规定。

③ 介质损失角增量Δtgδ值，不应超过表4-16规定。

表4-13 电动机匝间耐压试验值

电动机额定电压(V)	额定容量(kW)	每匝试验电压有效值(V)
3000	1000以下	300
3000	1000及以上	500
6000	3000以下	700
6000	3000及以上	1000
10000	所有容量	1500
10000以上	所有容量	2000

表4-14 tgδ值温度修正系数

t(℃)	14	16	18	20	22	24	26	28	30
k	1.08	1.06	1.03	1.00	0.97	0.94	0.90	0.87	0.84

表4-15 额定电压下tgδ值标准

额定电压(kV)	电动机容量(kW)	tgδ×100	
		无保护环	有保护环
6及以上	4000～6000	15	12
6及以上	大于6000	12	10

表4-16　电动机⊿tgδ值标准

电动机容量（kW）	无保护环		有保护环	
	额定电压下tgδ(%)	⊿tgδ(%)	额定电压下tgδ(%)	⊿tgδ(%)
4000～6000	≯15	≯5	≯12	≯4
6000～25000	≯12	≯5	≯10	≯4
≥25000	≯10	≯5	≯8	≯4
≥25000	≯12	≯4	≯10	≯3

注：⊿tgδ值是在1.5倍额定电压与0.5倍额定电压下tgδ之差。

附　录

附表中符号含义

1. P_N、U_N、I_N——额定功率、额定电压、额定电流
2. D_1、D_{i1}、D_{i2}——定子铁心外径、内径，转子铁心内径
3. L、δ——铁心长度、气隙长度
4. Z_1、Z_2——定子、转子槽数
5. W_{1c}——定子每槽导体数
6. B_δ、B_{t1}、B_{t2}、B_{c1}、B_{c2}——分别表示气隙磁通密度，定子，转子齿磁通密度，定子、转子齿轭磁通密度
7. R_1、R_2——定、转子绕组相电阻
8. P_{Cu1}、P_{Cu2}、P_{Al2}、P_{Fe}、P_s、P_f——分别表示定、转子铜耗、转子铝耗、铁耗、杂散损耗和机械损耗
9. P_0、I_0——空载输入功率或空载损耗、空载电流
10. η_1、η_2——电动机效率的设计值和标准值
11. $\cos\varphi_1$、$\cos\varphi_2$——功率因数的设计值和标准值
12. $\frac{I_{st1}}{I_N}$、$\frac{I_{st2}}{I_N}$——堵转电流倍数的设计值和标准值
13. $\frac{M_{st1}}{M_N}$、$\frac{M_{st2}}{M_N}$——堵转转矩倍数的设计值和标准值
14. $\frac{M_{max1}}{M_N}$、$\frac{M_{max2}}{M_N}$——最大转矩倍数的设计值和标准值

附表1　Y系列(IP44)小型三相异

型　　号	额定功率(kW)	满载时				堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	铁心长度(mm)	气隙长度(mm)
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数(cosΦ)					
Y801-2	0.75	1.8	2830	75	0.84	7	2.2	2.2	65	0.3
Y802-2	1.1	2.5		77	0.86				80	
Y801-4	0.55	1.5	1390	73	0.76	6.5			65	0.25
Y802-4	0.75	2.0		74.5	0.76				80	
Y90S-2	1.5	3.4	2840	78	0.85	7			85	0.35
Y90L-2	2.2	4.7		82	0.86				110	
Y90S-4	1.1	2.8	1400	78	0.78	6.5			90	0.25
Y90L-4	1.5	3.7		79	0.79				120	
Y90S-6	0.75	2.3	910	72.5	0.70	6	2.0	2.0	100	
Y90L-6	1.1	3.2		73.5	0.72				125	
Y100L-2	3.0	6.4	2870	82	0.87	7	2.2	2.2	100	0.4
Y100L1-4	2.2	5.0	1430	81	0.82				105	0.3
Y100L2-4	3.0	6.8		82.5	0.81				135	
Y100L-6	1.5	4.0	940	77.5	0.74	6	2.0	2.0	100	0.25
Y112M-2	4.0	8.2	2890	85.5	0.87	7	2.2	2.2	105	0.45
Y112M-4	4.0	8.8	1440	84.5	0.82				135	0.3
Y112M-6	2.2	5.6	940	80.5	0.74	6	2.0	2.0	110	

步电动机技术数据(380V，50Hz)

定子外径(mm)	定子内径mm)	定子线规 n_c-d_c	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 (N·m²)	重量 (kg)
120	67	1-0.63	111		单层交叉	1—9 2—10 18—11	18/1(	0.0075	16
		1-0.71	90					0.009	17
	75	1-0.56	128		单层链式	1—6	24/22	0.018	17
		1-0.63	103					0.021	18
130	72	1-0.8	74		单层交叉	1—9 2—10 18—11	18/16	0.012	22
		1-0.95	58					0.014	25
	80	1-0.71	81		单层链式	1—6	24/22	0.021	22
		1-0.8	63					0.027	27
	86	1-0.67	77	1			36/33	0.029	23
		1-0.75	60					0.035	25
155	94	1-1.18	40		单层同心	1—12 2—11	24/2(	0.029	33
	98	2-0.71	41		单层交叉	1—9 2—10 18—11	36/32	0.054	34
		1-1.18	31					0.067	38
	106	1-0.85	53		单层链式	1—6	36/33	0.069	33
175	98	1-1.06	48		单层同心	1—16,2—15, 3—14,1—14 2—13	30/26	0.055	45
	110	1-1.06	46		单层交叉	1—9,2—10, 18—11	36/32	0.095	43
	120	1-1.06	44		单层链式	1—6	36/33	0.138	45

型号	额定功率(kW)	满载时				堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	铁心长度(mm)	气隙长度(mm)
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数(cosφ)					
Y132S1-2	5.5	11	2900	85.5	0.83	7	2.0	2.2	105	0.55
Y132S2-2	7.5	15		86.2	0.88				125	
Y132S-4	5.5	12	1440	85.5	0.84		2.2		115	0.4
Y132M-4	7.5	15		87	0.85				160	
Y132S-6	3.0	7.2	960	83	0.76	6.5	2.0	2.0	110	0.35
Y132M1-6	4.0	9.4		84	0.77				140	
Y132M2-6	5.5	13		85.3	0.78				180	
Y132S-8	2.2	5.8	710	81	0.71	5.5			110	
Y132M-8	3.0	7.7		82	0.72				140	
Y160M1-2	11	22	2930	87.2	0.88	7	2.0	2.2	125	0.65
Y160M2-2	15	29		88.2	0.88				155	
Y160L-2	18.5	36		89	0.89				195	
Y160M-4	11	23	1460	88	0.84		2.2		155	0.5
Y160L-4	15	30		88.5	0.85				195	
Y160M-6	7.5	17	970	86	0.78	6.5	2.0	2.0	145	0.4
Y160L-6	11	25		87	0.78				195	

（续）

定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 n_c-d_c	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 ($N\cdot m^2$)	重量 (kg)
210	116	1-0.9 1-0.95	44	1	单层同心	1—16 2—15 3—14	30/26	0.109	64
		1-1.0 1-1.06	37			1—14 2—13		0.126	70
	136	1-0.9 1-0.95	47		单层交叉	1—9 2—10	36/32	0.214	68
		2-1.06	35			18—11		0.296	81
	148	1-0.85 1-0.9	38		单层链式	1—6	36/33	0.286	63
		1-1.06	52					0.357	73
		1-1.25	42					0.449	84
		1-1.12	38				48/44	0.314	63
		1-1.30	30					0.395	79
260	150	2-1.18 1-1.25	28		单层同心	1—16 2—15	30/26	0.377	117
		2-1.12 2-1.18	23			3—14		0.449	125
		3-1.12 2-1.18	19			1—14 2—13		0.550	147
	170	1-1.30	56	2	单层交叉	1—9 2—10	36/28	0.747	123
		2-1.25 1-1.18	22			18—11		0.918	144
	180	2-1.12	38	1	单层链式	1—6	36/33	0.881	119
		4-0.95	28					1.16	147

型号	额定功率(kW)	满载时				堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	铁心长度(mm)	气隙长度(mm)
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数(cosφ)					
Y160M1-8	4.0	9.9		84	0.73				110	
						6		2.0		0.4
Y160M2-8	5.5	13	720	85	0.74				145	
Y160L-8	7.5	18		86	0.75	5.5	2.0		195	
Y180M-2	22	42	2940	89	0.89				175	0.8
Y180M-4	18.5	36		91	0.86	7		2.2	190	
			1470							0.55
Y180L-4	22	43		91.5	0.86				220	
Y180L-6	15	37	970	89.5	0.81	6.5	1.8		200	
								2.0		0.45
Y180L-8	11	25	730	86.5	0.77	6	1.7		200	
Y200L1-2	30	57		90	0.89				180	
			2950							1.0
Y200L2-2	37	70		90.5	0.89	7	2.0	2.2	210	
Y200L-4	30	57	1470	92.2	0.87				230	0.65
Y200L1-6	18.5	38		89.8	0.83				195	
			970			6.5				
Y200L2-6	22	45		90.2	0.83		1.8	2.0	220	0.5
Y200L-8	15	34	730	88	0.76	6			195	
Y225M-2	45	84	2970	91.5	0.89		2.0		210	1.1
						7		2.2		
Y225S-4	37	70	1480	91.8	0.87		1.9		200	0.7

（续）

定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 n_c-d_c	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 ($N\cdot m^2$)	重量 (kg)
260	180	1-1.25	49	1	单层链式	1—6	48/44	0.753	118
		2-1.0	39					0.931	119
		1-1.12 1-1.18	30					1.26	145
290	160	2-1.3 2-1.4	16			1—14	36/28	0.75	180
	187	2-1.18	32	2		1—11	48/44	1.39	182
		2-1.3	28					1.58	190
	205	1-1.5	34			1—9	54/44	2.07	195
		2-0.9	46			1—7	54/58	2.03	184
327	182	2-1.12 2-1.18	28		双层叠式	1—14	36/28	1.24	240
		1-1.4 2-1.5	24	4				1.39	255
	210	1-1.06 1-1.12	38	2		1—11	48/44	2.62	270
	230	1-1.12 1-1.18	32			1—9	54/44	3.15	220
		2-1.25	28					3.60	250
		1-1.06 1-1.12	38			1—7	54/58	3.39	250
368	210	3-1.4 1-1.5	22			1—14	36/28	2.33	309
	245	2-1.25	46	4		1—12	48/44	4.06	284

型号	额定功率(kW)	满载时				堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	铁心长度(mm)	气隙长度(mm)
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数(cosφ)					
Y225M-4	45	84	1480	92.3	0.88	7	1.9	2.2	235	0.7
Y225M-6	30	60	980	90.2	0.85	6.5	1.7	2.0	210	0.5
Y225S-8	18.5	41	730	89.5	0.76	6			170	
Y225M-8	22	48	740	90	0.78		1.8		210	
Y250M-2	55	103	2970	91.5	0.8	7	2.0	2.2	195	1.2
Y250M-4	55	103	1480	92.6	0.88				240	0.8
Y250M-6	37	72	980	90.8	0.86	6.5	1.8	2.0	225	0.55
Y250M-8	30	63	740	90.5	0.80	6			225	
Y280S-2	75	140	2970	91.5	0.89	7	2.0	2.2	225	1.5
Y280M-2	90	167		92	0.89				260	
Y280S-4	75	140	1480	92.7	0.88		1.9		240	0.9
Y280M-4	90	164		93.6	0.89				325	
Y280S-6	45	85	980	92	0.87	6.5	1.8	2.0	215	0.65
Y280M-6	55	104		92	0.87				230	
Y280S-8	37	78	740	91	0.79	6			215	
Y280M-8	45	93		91.7	0.80				260	

（续）

定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 n_c-d_i	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 ($N\cdot m^2$)	重量 (kg)
368	245	1-1.30 1-1.40	40	4	双层叠式	1—12	48/44	4.69	320
	260	2-1.40 1-1.30	26	2		1—9	54/44	5.47	292
		2-1.40	38			1—7	54/58	4.91	266
		2-1.50	32					5.47	292
400	225	6-1.40	20			1—14	36/28	3.12	403
	260	3-1.30	36	4		1—12	48/44	6.6	427
	285	1-1.12 2-1.18	28	3			72/58	8.34	408
		3-1.30	22			1—9		8.34	405
445	255	7-1.50	14	2		1—16	42/34	5.97	544
		8-1.50	12					6.75	620
	300	2-1.25 2-1.30	26	4		1—14	60/50	11.2	562
		5-1.30	20					14.6	667
	325	2-1.30 1-1.40	26	3		1—12	72/58	13.9	536
		1-1.40 2-1.50	22					16.5	595
		2-1.30	40	4				13.9	520
		1-1.50 1-1.40	34					16.5	592

型号	额定功率(kW)	满载时				堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩	铁心长度(mm)	气隙长度(mm)
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数 cosφ					
Y315S-2	110	200	2980	93	0.90	7	1.8	2.2	290	1.8
Y315M1-2	132	237		94	0.90				340	
Y315M2-2	160	286		94.5	0.90				380	
Y315S-4	110	201	1480	93.5	0.89				300	1.1
Y315M1-4	132	241	1490	93.5	0.89				350	
Y315M2-4	160	291		94	0.89				400	
Y315S-6	75	141	990	93	0.87	6.5	1.6	2.0	300	0.8
Y315M1-6	90	168		93.5	0.87				350	
Y315M2-6	110	204		94	0.87				400	
Y315M3-6	132	245		94	0.87				455	
Y315S-8	55	111	740	92	0.82				300	
Y315M1-8	75	150		92.5	0.82				350	
Y315M2-8	90	179		93	0.82				400	
Y315M3-8	110	219		93	0.82				455	
Y315S-10	45	99	590	91	0.76		1.4		300	
Y315M1-10	55	120		91.5	0.76				400	
Y315M3-10	75	161		92	0.77				455	

（续）

定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 n_c-d_c	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2	转动惯量 (N·m²)	重量 (kg)
520	300	10-1.50 4 1.60	9		双层叠式	1—18	48/40	11.8	980
		5-1.40 12-1.50	8	2				18.2	1080
		17-1.60	7					20.8	1160
	350	3-1.30 4-1.40	16			1—17	72/64	31.1	1000
		3-1.30 4-1.50	14	4				36.2	1100
		2-1.40 6-1.50	12					41.3	1160
	375	1-1.40 2-1.50	34			1—11		41.1	990
		1-1.50 2-1.60	30	6				47.8	1080
		1-1.40 3-1.50	25					54.5	1150
		1-1.50 3-1.60	22					61.2	1210
	390	7-1.50	14	2		1—9	72/58	47.9	1000
		1-1.50 1-1.60	46	8				55.8	1100
		4-1.30 2-1.40	20	4				63.7	1160
		1-1.40 2-1.50	34	8				72.3	1230
		1-1.12 1-1.18	66	10			90/72	47.9	990
		2-1.30	52					63.7	1150
		2-1.40 2-1.50	22	5				71.5	1220

附表2 Y系列（IP23）小型三相异步

型号	额定功率(kW)	满载时				堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数(cosφ)			
Y160M-2	15	29	2910	88	0.88	7.0	1.7	2.2
Y160L1-2	18.5	36		89	0.89		1.8	
Y160L2-2	22	42		89.5	0.89		2.0	
Y160M-4	11	23	1460	87.5	0.85		1.9	
Y160L1-4	15	30		88	0.86			
Y160L2-4	18.5	37		89	0.86			
Y160M-6	7.5	17	960	85	0.79	6.5	2.0	2.0
Y160L-6	11	25		86.5	0.78			
Y160M-8	5.5	14	720	83.5	0.73	6.0		
Y160L-8	7.5	18		85	0.73			
Y180M-2	30	57	2940	89.5	0.89	7.0	1.7	2.2
Y180L-2	72	70		90.5	0.89			
Y180M-4	22	43	1460	89.5	0.86		1.9	
Y180L-4	30	58		90.5	0.87			
Y180M-6	15	32	970	88	0.81	6.5	1.8	2.0
Y180L-6	18.5	38		88.5	0.83			
Y180M-8	11	26	720	86.5	0.74	6.0		
Y180L-8	15	34		87.5	0.76			

电动机技术数据（380V，50Hz）

铁心长度	气隙长度	定子外径	定子内径	定子线规 n_c-d_c	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2
mm									
100	0.8	290	160	2-1.06 1-1.12	24	1	双层叠式	1—14	36/28
125				1-1.4 1-1.5	20				
135				1-1.5 1-1.6	18				
100	0.55		187	1-1.18	54	2		1—11	48/44
130				1-1.3 1-1.4	42				
150				1-1.5	18				
95	0.45		205	1-1.4 2-1.18	32	1		1—9	54/44
125				1-1.3	24				
95				1-1.0	42			1—7	54/50
125				1-1.06	32				
135	1.0		182	2-1.3	32	2		1—14	36/28
160				2-1.4	27				
135	0.65	327	210	2-1.12	36			1—11	48/44
175				2-1.3	32				
125	0.50		230	1-1.4	44			1—9	54/44
155				2-1.06	36				
125				2-0.9	56			1—7	54/50
155				2-1.0	44				

型号	额定功率(kW)	满载时				堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数(cosφ)			
Y200M-2	45	84	2940	91	0.89	7.0	1.9	2.2
Y200L-2	55	103	2950	91.5	0.89			
Y200M-4	37	71	1470	90.5	0.87		2.0	
Y200L-4	45	86		91.5	0.87			
Y200M-6	22	44	970	89	0.85	6.5	1.7	2.0
Y200L-6	30	59	980	89.5	0.87			
Y200M-8	18.5	41	730	88.5	0.78	6.0		
Y200L-8	22	48	740	89	0.78			
Y225M-2	75	140	2960	91.5	0.89	7.0	1.8	2.2
Y225M-4	55	104	1470	91.5	0.88			
Y225M-6	37	71	980	90.5	0.87	6.5		2.0
Y225M-8	30	63	740	89.5	0.81	6.0		
Y250S-2	90	167	2960	92	0.89	7.0	1.7	2.2
Y250M-2	110	201		92.5	0.90			
Y250S-4	75	141	1470	92	0.88		2.0	
Y250M-4	90	168		92.5	0.88		2.2	

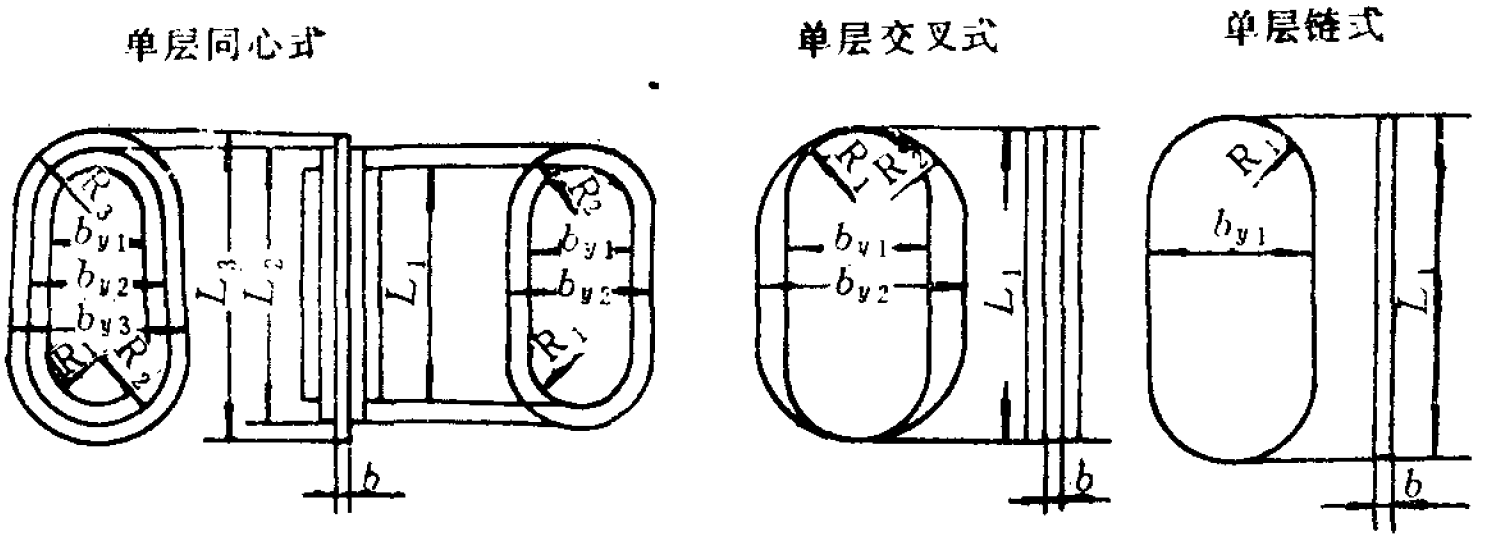
（续）

铁心长度	气隙长度	定子外径	定子内径	定子线规 n_c-d_c	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2
mm									
155	1.1	368	210	2-1.25 2-1.3	24	2	双层叠式	1—14	36/28
185				3-1.4	21				
155	0.7		245	1-1.12 2-1.18	26			1—11	48/44
185				3-1.3	22				
135	0.50		260	2-1.18	36			1—9	54/44
165				1-1.3 1-1.4	30				
135				1-1.6	44			1—7	54/50
165				2-1.25	36				
185	1.2		225	3-1.6	18			1—14	36/28
185	0.8	400	260	1-1.25 1-1.3	40	4			48/44
175	0.55		285	1-1.18 1-1.25	30	3		1—12	72/58
175				1-1.4	50	4		1—9	
170	1.5	445	225	2-1.3 3-1.4	16	2		1—16	42/34
195				4-1.5 1-1.6	14				
185	0.9		300	2-1.25 3-1.3	14			1—14	60/50
215				4-1.25 2-1.3	12				

型　　号	额定功率(kW)	满载时				堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		定子电流(A)	转速(r/min)	效率(%)	功率因数(cosφ)			
Y250S-6	45	87	980	91	0.86	6.5	1.8	2.0
Y250M-6	55	106		91	0.87			
Y250S-8	37	78	740	90	0.80	6.0	1.6	
Y250M-8	45	94		90.5	0.80		1.8	
Y280M-2	132	241	2970	92.5	0.90	7.0	1.6	2.2
Y280S-4	110	205	1480	92.5	0.88		1.7	
Y280M-4	132	245		93	0.88			
Y280S-6	75	143	980	91.5	0.87	6.5	1.8	2.0
Y280M-6	90	169		92	0.88			
Y280S-8	55	115	740	91	0.80	6.0		
Y280M-8	75	154		91.5	0.81			

（续）

铁心长度	气隙长度	定子外径	定子内径	定子线规 n_c-d_c	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 Z_1/Z_2
mm									
165	0.65	445	325	2-1.4 4-1.06	28	3	双层叠式	1—12	72/58
195				1-1.06	24				
165				1-1.12 1-1.18	46	4		1—9	
195				1-1.25	38				
200	1.6		280	6-1.5	12	2		1—16	42/34
200	1.0	493	330	1-1.25	24	4		1—14	60/50
240				4-1.4	20				
185	0.70		360	3-1.4 3-1.5	22	3		1—12	72/58
240				1-1.3	18				
185				1-1.4	36	4		1—9	
240				1-1.5 1-1.6	28				



Y80～160(IP44)三相异步电动机木模图（见附表 3）

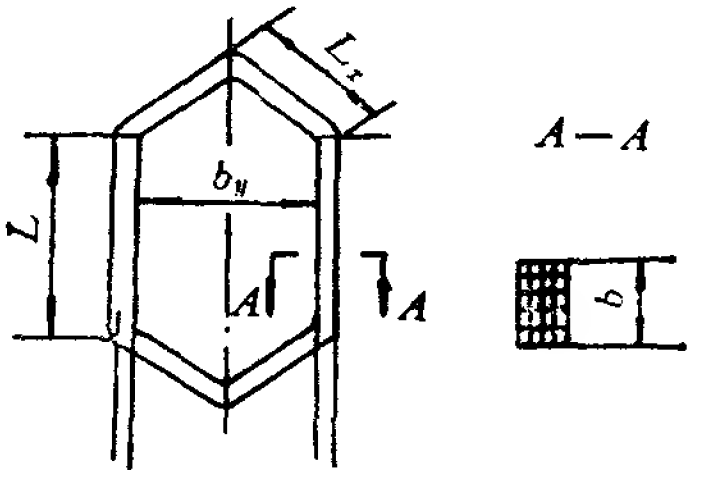
附表3　Y80～160(IP44)三相异步电动机木模尺寸表

型　号	功　率 (kW)	绕组型式	线模尺寸 (mm)									
			b_{y1}	b_{y2}	b_{y3}	L_1	L_2	L_3	R_1	R_2	R_3	b
Y801-2	0.75	单层交叉	58	71		169			30	36		8
Y802-2	1.1					180						
Y90S-2	1.5		66	79		185			33	40		9
Y90L-2	2.2					213						
Y100L-2	3.0	单层同心式	87	104		208	230		44	52		10
Y112M-2	4.0		88	104	120	230	244	275	44	52	60	
Y132S1-2	5.5					237	259	300	51	62	73	
Y132S2-2	7.5		102	124	146	257	279	320				
Y160M1-2	11					297	323	349	66	79	92	12
Y160M2-2	15		132	158	184	327	353	379				
Y160L-2	18.5					367	393	419				
Y801-4	0.55	单层链式	50			119			31			8
Y802-4	0.75					129						
Y90S-4	1.1					146			36			9
Y90L-4	1.5					174						
Y100L1-4	2.2	单层交叉	59	67		180			32	37		10
Y100L2-4	3.0					210						
Y112M-4	4.0		67	72		210			34	40		10
Y132S-4	5.5		84	94		195			53	65		
Y132M-4	7.5					245						
Y60M-4	11		104	116		253			60	69		12
Y160L-4	15					293						

（续）

型　　号	功　率 (kW)	绕组型式	线　模　尺　寸　(mm)								
			b_{y1}	b_{y2}	b_{y3}	L_1	L_2	L_3	R_1	R_2	R_3	b
Y90S-6	0.75	单层链式	36			146			22			9
Y90L-6	1.1					165						
Y100L-6	1.5		48			158			28			10
Y112M-6	2.2		53			171			30			
Y132S-6	3.0		65			170			43			9
Y132M1-6	4.0					200						
Y132L1-6	5.5					240						
Y160M-6	7.5		79			220			47			12
Y160L-6	11					270						
Y132S-8	2.2		49			165			39			9
Y132M-8	3.0					195						
Y160M1-8	4.0		60			178			37			12
Y160M2-8	5.5					208						
Y160L-8	7.5					263						

双层叠式



Y180～315(IP44)三相异步电动机木模图（见附表4）

附表4　Y180～315(IP44)三相异步电动机木模尺寸表

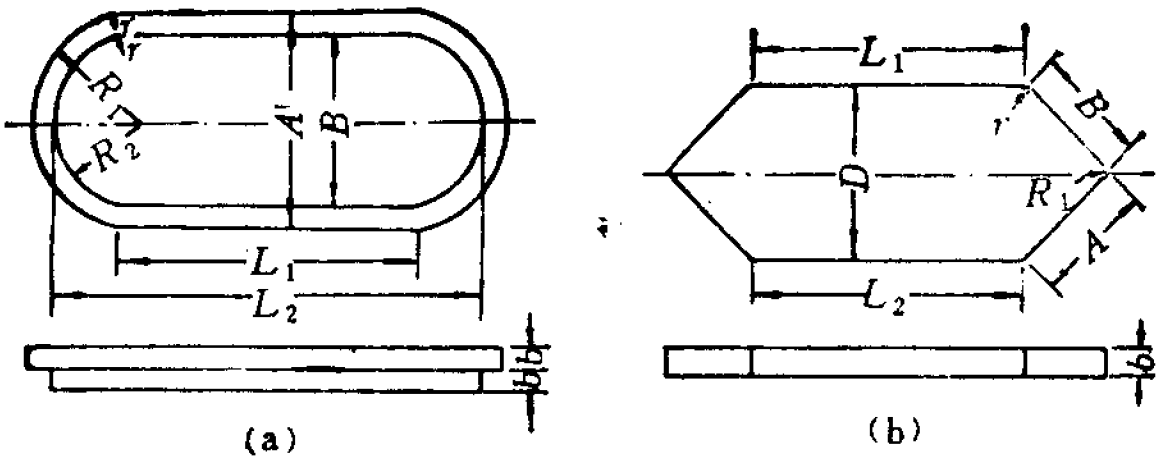
型　　号	功　率 (kW)	线　模　尺　寸　(mm)			
		b_y	L	L_1	b
Y180M-2	22	102	215	126	9
Y180M-4	18.5	132	230	79	7.5
Y180L-4	22		260		
Y180L-6	15	100	235	61	6.5

（续）

型　号	功　率 (kW)	线模尺寸 (mm)			
		b_y	L	L_z	h
Y180L-8	11	74	235	45	6.5
Y200L1-2	30	230	225	140	8
Y200L2-2	37		255		
Y200L-4	30	150	275	87	
Y200L1-6	18.5	113	230	65	7
Y200L2-6	22		260		
Y200L-8	15	83	230	50	
Y225M-2	45	260	250	159	12
Y225S-4	37	190	240	117	10
Y225M-4	45		275		
Y225M-6	30	124	250	76	
Y225S-8	18.5	94	210	61	6.5
Y225M-8	22		250		
Y250M-2	55	284	259	173	12.5
Y250M-4	55	202	290	119	10
Y250M-6	37	145	265	92	7
Y250M-8	30	103		67	
Y280S-2	75	312	275	192	24
Y280M-2	90		310		
Y280S-4	75	217	290	137	12
Y280M-4	90		375		
Y280S-6	45	164	265	100	9
Y280M-6	55		310		

（续）

型　号	功　率 (kW)	线　模　尺　寸 (mm)			
		b_y	L	L_y	b
Y280S-8	37	117	265	75	9
Y280M-8	45		310		
Y315S-2	110	370	340	240	16
Y315M1-2	132		390		
Y315M-2	160		430		
Y315S-4	110	264	355	165	
Y315M1-4	132		405		
Y315M2-4	160		455		
Y315S-6	75	175	350	115	10
Y315M1-6	90		400		
Y315M2-6	110		450		
Y315M3-6	132		505		
Y315S-8	55	141	350	90	
Y315M1-8	75		400		
Y315M2-8	90		450		
Y315M3-8	110		505		
Y315S-10	45	113	350	73	
Y315M1-10	55		400		
Y315M3-10	75		505		



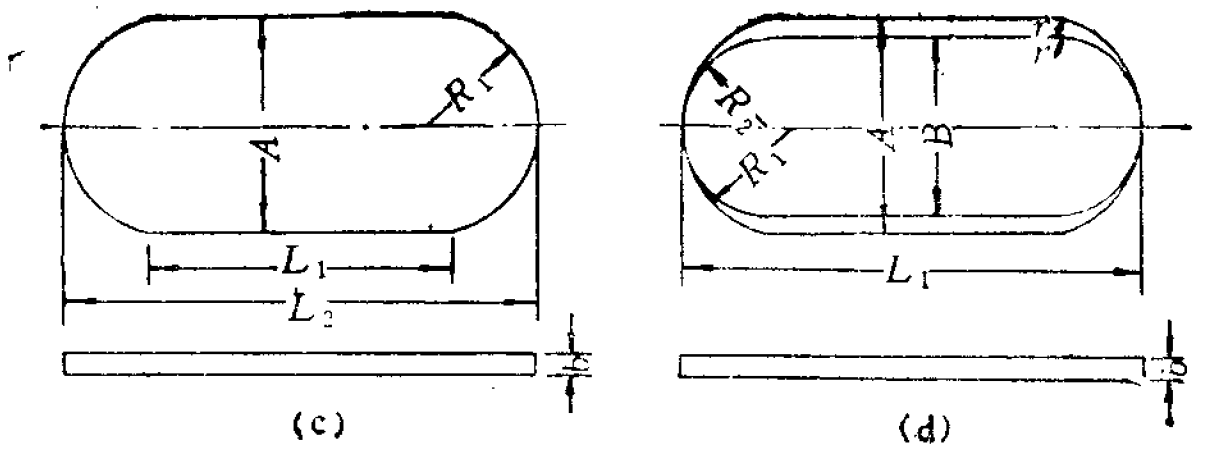
J、JO、J2、JO2系列的定子线圈

(a) J、JO、J2和JO2 系列电动机定子单层同心式线圈木模

(b) J、JO和JO2系列电动机定子双层叠绕线圈木模

附表5 J系列三相异步电动机定子线圈

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子				
							电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
J31-2	1.0	145	80	70	24	0.35	0.69	1	单层同心式	72	1—12 2—11
J32-2	1.7	145	80	100	24	0.35	0.8	1	单层同心式	52	1—12 2—11
J41-2	2.8	182	102	80	24	0.50	1.16	1	单层同心式	48	1—12 2—11
J42-2	4.5	182	102	115	24	0.50	1.4	1	单层同心式	33	1—12 2—11
J51-2	7	245	145	90	24	0.60	1.2 1.25	1 1	单层同心式	32	1—12 2—11
J52-2	10	245	145	140	24	0.60	1.35 1.45	1 1	单层同心式	21	1—12 2—11
J61-2	14	327	182	80	36	0.70	1.25	2	双叠	17	1—13
J62-2	20	327	182	105	36	0.70	1.45	2	双叠	13	1—13
J71-2	28	368	210	105	36	0.80	1.45 1.35	1 2	双叠	12	1—13
J72-2	40	368	210	135	36	0.80	1.45 1.35	1 3	双叠	9	1—13
J81-2	55	423	245	130	36	1.10	1.56 1.45	3 2	双叠	8	1—13
J82-2	75	423	245	180	36	1.10	1.56 1.45	1 6	双叠	6	1—13
J91-2	100	493	280	160	36	1.00	1.56	9	双叠	5	1—13
J92-2	125	493	280	220	36	1.00	1.56	11	双叠	4	1—13
J31-4	0.6	145	90	84	24	0.25	0.57	1	单链	108	1—6
J32-4	1.0	145	90	109	24	0.25	0.69	1	单链	89	1—6
J11-4	1.7	182	110	80	36	0.27	0.96	1	单链	52	1—8



木模图（见附表5～8）

(c) J、JO、J2和JO2系列电动机定子单层链式线圈木模

(d) JO_2系列电动机定子单层交叉式线圈木模

木模尺寸表（见附表5～8的附图）

绕组			Z_2	定子线圈木模尺寸(mm)									
每台电机圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)		A	B	D	L_1	L_2	R_1	R_2	r	b	图号
12	1	1.65	20	132	107	—	80	—	70	60	5	8	a
12	1	1.93	20	132	107	—	110	—	70	60	5	8	a
12	1	3.27	20	160	130	—	92	—	86.5	70.5	5	10	a
12	1	3.9	20	160	130	—	125	—	86.5	70.5	5	10	a
12	1	6.0	20	220	175	—	107	—	120	96	5	14	a
12	1	8.25	20	220	175	—	160	—	120	96	5	14	a
36	2	9.8	28	118	133	209	115	120	20	—	6	12	b
36	2	10.9	28	118	133	209	140	145	20	—	6	12	b
36	2	6.3 11 5	28	156	156	240	135	135	20	—	6	12	b
36	2	13.2	28	156	156	240	165	165	20	—	6	12	b
36	2	17.5 10	28	184	194	290	178	166	20	—	6	12	b
36	2	4.8 25	28	184	194	290	228	216	20	—	6	12	b
36	2	36.5	28	210	210	340	210	210	20	—	6	11	b
36	2	39.5	28	210	210	340	270	270	20	—	6	11	b
12	1	1.12	18	60	—	—	94	154	36	—	5	12	c
12	1	1.34	18	60	—	—	110	170	36	—	5	12	c
18	1	2.85	26	97	—	—	112	154	65	—	5	12	c

电动机型号	P_N kW	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子				
							电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
J42-4	2.8	182	110	115	36	0.27	1.2	1	单链	36	1—8
J51-4	4.5	245	155	90	36	0.40	1.4	1	单链	31	1—8
J52-4	7	245	155	135	36	0.40	1.25	2	单链	21	1—8
J61-4	10	327	210	80	36	0.60	1.56	1	双叠	25	1—8
J62-4	14	327	210	105	36	0.60	1.25	2	双叠	19	1—8
J71-4	20	368	230	105	36	0.60	1.56	2	双叠	17	1—8
J72-4	28	368	230	135	36	0.60	1.45	3	双叠	13	1—8
J81-4	40	423	280	130	48	0.70	1.45	4	双叠	9	1—10
J82-4	55	423	280	180	48	0.70	1.35 1.45	2 1	双叠	13	1—10
J91-4	75	493	327	160	60	0.90	1.45	4	双叠	10	1—13
J92-4	100	493	327	220	60	0.90	1.56 1.35	3 2	双叠	8	1—13
J41-6	1.0	182	110	80	36	0.27	0.86	1	单链	74	1—32 2—7
J42-6	1.7	182	110	115	36	0.27	1.08	1	单链	51	1—32 2—7
J51-6	2.8	245	155	90	36	0.40	1.25	1	单链	45	1—32 2—7
J52-6	4.5	245	155	135	36	0.40	1.56	1	单链	30	1—8 2—7
J61-6	7	327	210	80	36	0.50	1.35	2	双叠	17	1—6
J62-6	10	327	210	105	36	0.50	1.56	2	双叠	13	1—6
J71-6	14	368	260	105	54	0.50	1.56	1	双叠	24	1—8
J72-6	20	368	260	135	54	0.50	1.25	2	双叠	19	1—8
J81-6	28	423	300	130	72	0.60	1.45 1.35	1 1	双叠	12	1—11
J82-6	40	423	300	180	72	0.60	1.45	4	双叠	6	1—11
J91-6	55	493	350	160	72	0.65	1.45	2	双叠	17	1—11
J92-6	75	493	350	220	72	0.65	1.35	3	双叠	13	1—11
J61-8	4.5	327	230	80	48	0.45	1.16 1.35	2 1	双叠	17	1—6
J62-8	7	327	230	105	48	0.45	1.45	1	双叠	12	1—9
J71-8	10	368	260	105	54	0.50	1.16	2	双叠	20	1—7
J72-8	14	368	260	135	54	0.50	1.25	2	双叠	16	1—7
J81-8	20	423	300	130	72	0.60	1.56	2	双叠	10	1—9
J82-8	28	423	300	180	72	0.60	1.35	2	双叠	15	1—9

（续）

绕组 每台电动机线圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)	Z_2	定子线圈本模尺寸(mm) A	B	D	L_1	L_2	S_1	S_2	r	b	图号
18		3.5	26	97	--	—	145	18[illegible]	[illegible]	—	5	12	c
18	1	5.9	26	131	--	—	12[illegible]	--	[illegible]	—	5	10	c
18	1	7.2	26	131	--	—	16[illegible]	—	[illegible]	—	5	10	c
36	2	9.55	44	81	9[illegible]	134	10[illegible]	[illegible]	20	--	[illegible]	15	b
36	2	10.1	44	81	9[illegible]	134	15[illegible]	14[illegible]	20	—	[illegible]	15	b
36	2	15.2	44	95	95	15[illegible]	145	14[illegible]	20	--	[illegible]	10	b
36	2	16.3	44	95	95	15[illegible]	175	17[illegible]	20	--		10	b
48	2	22.7	47	116	135	171	166	17[illegible]	20	--	[illegible]	12	b
48	4	16.6 8.3	47	116	135	171	21[illegible]	208	20	—	6	12	b
60	4	17.5 8.9	47	145	145	220	204	204	20	—	6	11	b
60	4	14.5	47	145	145	220	264	264	20	—	6	11	b
18	1	3.6	26	51	—	—	102	162	10	—	[illegible]	12	c
18	1	3.2	26	51	—	—	127	177	[illegible]	—	5	12	c
18	1	4.6	44	75	—	—	120	—	83	—	5	10	c
18	1	5.7	44	75	—	—	[illegible]	--	[illegible]	—	[illegible]	[illegible]	c
36	1	8.3	44	70	70	92	11[illegible]	11[illegible]	2[illegible]	--	6	15	b
36	1	9.3	44	70	70	92	13[illegible]	135	20	--	[illegible]	5	b
54	3	14.3	58	76	76	10[illegible]	14[illegible]	14[illegible]	20	—	[illegible]	13	b
54	3	15.9	58	76	76	106	17[illegible]	175	20	—	6	13	b
72	3	9.9 8.5	58	92	100	145	17[illegible]	166	20	—	6	12	b
72	2	22.5	58	92	100	145	224	216	20	—	6	12	b
72	6	34.6	58	122	131	172	196	208	20	—	6	20	b
72	6	33.5	58	122	131	172	256	268	20	—	6	20	b
48	1	7.5	58	59	59	83	110	110	20	—	6	12	b
48	1	3.9 4.5	58	59	59	83	135	135	20	—	6	12	b
54	2	11.9	58	62	62	90	145	145	20	—	6	10	b
54	2	14.3	58	62	62	90	175	175	20	—	6	10	b
72	2	17.4	58	75	83	115	174	166	20	—	6	12	b
72	4	19.3	58	75	83	115	224	216	20	—	6	12	b

附表 6　JO系列三相异步电动机定子线圈

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子 电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
JO31-2	0.6	145	80	70	24	0.35	0.59	1	单层同心式	85	1—12 2—11
JO32-2	1.·	145	80	100	24	0.35	0.69	1	单层同心式	62	1—12 2—11
JO41-2	1.7	182	102	80	24	0.5	1.0	1	单层同心式	56	1—12 2—11
JO42-2	2.8	182	102	115	24	0.5	1.25	1	单层同心式	40	1—12 2—11
JO51-2	4.5	245	145	90	24	0.6	1.56	1	单层同心式	39	1—12 2—11
JO52-2	7	245	145	140	24	0.6	1.25 1.35	1 1	单层同心式	25	1—12 2—11
JO62-2	10	327	182	100	36	0.7	1.16	2	双叠	18	1—13
JO63-2	14	327	182	130	36	0.7	1.35	2	双叠	14	1—13
JO72-2	20	368	210	135	36	0.8	1.45 1.56	4 1	双叠	6	1—13
JO73-2	28	368	210	180	36	0.8	1.56	3	双叠	9	1—13
JO82-2	40	423	245	180	36	1.1	1.45	5	双叠	8	1—13
JO82-2	55	423	245	240	36	1.1	1.56 1.45	4 2	双叠	6	1—13
JO93-2	75	493	280	250	36	1.0	1.56	8	双叠	5	1—13
JO94-2	100	493	280	320	36	1.0	1.56	12	双叠	4	1—13
JO31-4	0.6	145	90	84	24	0.25	0.57	1	单链	108	1—6
JO32-4	1.0	145	90	100	24	0.25	0.69	1	单链	89	1—6
JO41-4	1.7	182	110	80	36	0.27	1.0	1	单链	52	1—8
JO42-4	2.8	182	110	115	36	0.27	1.25	1	单链	36	1—8
JO51-4	4.5	245	155	90	36	0.4	1.4	1	单链	32	1—8
JO52-4	7	245	155	135	36	0.4	1.25	2	单链	22	1—8
JO62-4	10	327	210	100	36	0.5	1.16	2	双叠	21	1—8
JO63-4	14	327	210	130	36	0.5	1.35	2	双叠	16	1—8
JO72-4	20	368	230	135	36	0.6	1.56	5	双叠	7	1—8
JO73-4	28	368	230	180	36	0.6	1.35	2	双叠	21	1—8

木模尺寸表（见附表5～8的附图）

绕组			Z_2	定子线圈木模尺寸(mm)									
每台电机线圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)		A	B	D	L_1	L_2	R_1	R_2	r	b	图号
12	1	1	20	132	107	—	80	—	70	60	5	8	a
12	1	1.69	20	132	107	—	110	—	70	60	5	8	a
12	1	2.8	20	160	130	—	92	—	86.5	70.5	5	10	a
12	1	4.6	20	160	130	—	125	—	86.5	70.5	5	10	a
12	1	7.6	20	220	175	—	107	—	120	96	5	14	a
12	1	4 4.7	20	220	175	—	160	—	120	96	5	14	a
36	2	10.5	28	118	133	209	140	145	20	—	6	12	b
36	2	11.7	28	118	133	209	165	170	20	—	6	12	b
36	1	13.2 3.8	28	156	156	240	165	165	20	—	6	12	b
36	2	18.5	28	156	156	240	210	210	20	—	6	12	b
36	2	25 21	28	167	176	290	228	216	20	—	6	12	b
36	2	9	28	184	194	290	288	270	20	—	6	12	b
36	2	44	28	210	210	340	300	300	20	—	6	12	b
36	2	53	28	210	210	340	370	370	20	—	6	12	b
12	1	1.12	26	60	—	—	94	154	36	—	5	12	c
12	1	1.34	26	60	—	—	110	170	36	—	5	12	c
18	1	3.55	26	97	—	—	112	154	65	—	5	12	c
18	1	4.5	26	97	—	—	145	188	65	—	5	12	c
18	1	6	26	131	—	—	112	—	75	—	5	10	c
18	1	7.2	26	131	—	—	135	—	75	—	5	10	c
36	2	10	44	81	90	134	108	116	20	—	5	15	b
36	2	13	44	81	90	134	133	141	20	—	5	15	b
36	1	17	44	95	95	150	175	175	20	—	6	10	b
36	4	18	44	95	95	150	210	210	20	—	6	10	b

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子				
							电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
JO81-4	40	423	280	180	48	0.7	1.56	2	双叠	15	1—11
JO83-4	55	423	300	210	48	0.7	1.45 1.35	2 1	双叠	11	1—11
JO93-4	75	493	327	260	60	0.9	1.45	5	双叠	7	1—12
JO94-4	100	493	327	320	60	0.9	1.45	6	双叠	6	1—12
JO41-6	1.0	182	110	80	36	0.27	0.86	1	单链	74	1—32 2—7
JO42-6	1.7	182	110	115	36	0.27	1.08	1	单链	51	1—32 2—7
JO51-6	2.8	245	155	90	36	0.4	1.25	1	单链	45	1—32 2—7
JO52-6	4.5	245	155	135	36	0.4	1.56	1	单链	30	1—32 2—7
JO62-6	7	327	210	100	36	0.5	1.35 1.45	1 1	双叠	14	1—6
JO63-6	10	327	210	130	36	0.5	1.35	3	双叠	11	1—6
JO72-6	14	368	260	135	54	0.5	1.45	2	双叠	13	1—9
JO73-6	20	368	260	180	54	0.5	1.35 1.45	1 1	双叠	14	1—9
JO82-6	28	423	300	180	72	0.6	1.56	2	双叠	10	1—11
JO83-6	40	423	300	240	72	0.6	1.56	4	双叠	5	1—11
JO93-6	55	493	350	260	72	0.65	1.25 1.35	1 2	双叠	13	1—11
JO94-6	75	493	350	320	72	0.65	1.56	3	双叠	10	1—11
JO62-8	4.5	327	230	100	48	0.45	1.25	2	双叠	14	1—6
JO63-8	7	327	230	130	48	0.45	1.45	2	双叠	11	1—6
JO72-8	10	368	260	135	54	0.5	1.25	2	双叠	17	1—7
JO73-8	14	368	260	180	54	0.5	1.45	2	双叠	13	1—7
JO82-8	20	423	300	180	72	0.6	1.35 1.45	2 1	双叠	8	1—9
JO83-8	28	423	300	240	72	0.6	1.45	2	双叠	13	1—9
JO93-8	40	493	350	260	72	0.65	1.45	3	双叠	11	1—9
JO94-8	55	493	350	320	72	0.65	1.45 1.35	2 2	双叠	8	1—9

注：电磁线均为单纱漆包线。

（续）

绕组			Z_2	定子线圈木模尺寸(mm)									
每台电机圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)		A	B	D	L_1	L_2	R_1	R_2	r	b	图号
48	4	25.5	38	123	135	185	228	216	20	—	6	12	b
48	4	19.3 8.4	47	130	143	194	288	276	20	—	6	12	b
60	4	43.7	47	163	163	250	280	280	20	—	6	11	b
60	4	49.5	47	163	163	250	364	364	20	—	6	11	b
18	1	2.6	26	51	—	—	102	162	29	—	5	12	c
18	1	3.2	26	51	—	—	137	177	29	—	5	12	c
18	1	4.6	44	75	—	—	110	—	35	—	5	10	c
18	1	5.7	44	75	—	—	165	—	35	—	5	11.5	c
36	1	4.2 4.7	44	70	70	92	135	135	20	—	6	15	b
36	1	9.8	44	70	70	92	158	158	20	—	6	15	b
54	2	15.2	58	76	76	106	175	175	20	—	6	13	b
54	3	8 9.2	58	76	76	106	220	220	20	—	6	13	b
72	3	21.4	58	96	104	150	224	216	20	—	6	12	b
72	2	24.5	58	96	104	150	284	276	20	—	6	12	b
72	6	11 26.7	58	122	131	172	286	298	20	—	6	20	b
72	6	46.5	58	122	131	172	340	372	20	—	6	20	b
48	1	8.2	58	59	59	83	135	135	20	—	6	12	b
48	1	9.5	58	59	59	83	158	158	20	—	6	12	b
54	2	13	58	62	62	90	175	175	20	—	6	10	b
54	2	15.7	58	62	62	90	220	220	20	—	6	10	b
72	2	11.7 6.7	58	75	83	115	224	216	20	—	6	12	b
72	4	24	58	75	83	115	284	274	20	—	6	12	b
72	4	34	58	84	92	120	286	298	20	—	6	20	b
72	4	19.5 16.7	58	99	109	136	356	368	20	—	6	20	b

附表7　J2系列三相异步电动机定子线圈

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子 电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
J2-61-2	17	280	155	110	36	0.8	1.4 1.35	1 1	双叠	16	1—13
J2-62-2	22	280	155	130	36	0.8	1.62	2	双叠	13	1—13
J2-71-2	30	327	182	130	36	0.8	1.3	4	双叠	10	1—13
J2-72-2	40	327	182	155	36	0.8	1.5	4	双叠	8	1—13
J2-81-2	55	368	210	180	36	1.2	1.45 1.5	1 2	双叠	14	1—13
J2-82-2	75	368	210	230	36	1.2	1.25 1.3	2 3	双叠	11	1—13
J2-91-2	100	423	245	220	42	1.6	1.45	5	双叠	8	1—15
J2-92-2	125	423	245	290	42	1.6	1.68	5	双叠	7	1—15
J2-61-4	13	280	182	120	36	0.5	1.2	2	双叠	17	1—8
J2-62-4	17	280	182	155	36	0.5	1.4	1	双叠	27	1—8
J2-71-4	22	327	210	145	36	0.5	1.4	3	双叠	12	1—9
J2-72-4	30	327	210	190	36	0.5	1.4	1	双叠	37	1—9
J2-81-4	40	368	245	180	48	0.65	1.5	1	双叠	27	1—11
J2-82-4	55	368	245	240	48	0.65	1.5	3	双叠	10	1—11
J2-91-4	75	423	280	210	60	0.85	1.5	4	双叠	8	1—13
J2-92-4	100	423	280	260	60	0.85	1.45	3	双叠	13	1—13
J2-61-6	10	280	200	165	54	0.4	1.12	2	双叠	14	1—9
J2-62-6	13	280	200	205	54	0.4	1.25	2	双叠	11	1—9
J2-71-6	17	327	230	200	54	0.45	1.5 1.45	1 1	双叠	9	1—9

木模尺寸表（见附表5～8的附图）

绕组			Z_2	定子线圈木模尺寸(mm)								
每台电动机定子圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)		A	B	D	L_1	L_2	R_1	r	b	图号
36	1	5.04 4.7	22	100	100	158	150	150	20	5	11	b
36	1	10.67	22	100	100	158	175	175	20	5	11	b
36	1	16	28	130	130	182	170	170	20	5	11	b
36	1	18.5	28	130	130	182	195	195	20	5	11	b
36	2	8.83 18.9	28	155	155	202	220	220	20	5	13	b
36	2	18.3 11.3	28	155	155	202	270	270	20	5	13	b
36	2	33.2	34	177	177	234	260	260	20	5	13	b
36	2	41.5	34	177	177	234	300	300	20	5	13	b
36	1	7.1	28	75	75	125	160	160	20	5	9	b
36	2	7.8	28	75	75	125	195	195	20	5	9	b
36	1	12.2	26	92	92	162	185	185	20	5	10	b
36	4	15	26	92	92	162	230	230	20	5	10	b
48	4	19.5	38	104	104	170	220	220	20	5	10	b
48	2	24.6	38	104	104	170	280	280	20	5	10	b
60	2	32.3	50	120	120	187	250	250	20	5	10	b
60	4	40.4	50	120	120	187	300	300	20	5	10	b
54	1	7.9	44	62	62	105	205	205	20	5	7	b
54	1	10	44	62	62	105	250	250	20	5	7	b
54	1	5.9 5.5	44	67	67	115	230	230	20	5	7	b

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子				
							电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
J2-72-6	22	327	230	250	54	0.45	1.2	2	双叠	14	1—9
J2-81-6	30	368	260	180	72	0.5	1.4	2	双叠	12	1—11
J2-82-6	40	368	260	240	72	0.5	1.35	2	双叠	11	1—11
J2-91-6	55	423	300	320	72	0.6	1.56	1	双叠	23	1—11
J2-92-6	75	423	300	420	72	0.6	1.3	2	双叠	17	1—11
J2-61-8	7.5	280	200	165	54	0.4	1.45	1	双叠	18	1—7
J2-62-8	10	280	200	205	54	0.4	1.2	1	双叠	27	1—7
J2-71-8	13	327	230	155	54	0.45	1.35	1	双叠	25	1—7
J2-72-8	17	327	230	200	54	0.45	1.5 1.45	1 1	双叠	10	1—7
J2-81-8	22	368	260	180	72	0.5	1.25	2	双叠	15	1—9
J2-82-8	30	368	260	240	72	0.5	1.25	1	双叠	23	1—9
J2-91-8	40	423	300	255	72	0.5	1.16	2	双叠	18	1—9
J2-92-8	55	423	300	340	72	0.5	1.4 1.45	1 1	双叠	14	1—9
J2-81-10	17	368	260	180	60	0.45	1.16 1.25	1 1	双叠	20	1—6
J2-82-10	22	368	260	240	60	0.45	1.35	2	双叠	15	1—6
J2-91-10	30	423	300	240	60	0.5	1.35	1	双叠	31	1—6
J2-92-10	40	423	300	320	60	0.5	1.62	1	双叠	24	1—6

注：J2系列电动机的接法均为△，适用于380V，电磁线均为高强度聚酯漆包圆铜线。

（续）

绕组				定子线圈木模尺寸(mm)								
每台电动机线圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)	Z_2	A	B	D	L_1	L_2	R_1	r	b	图号
54	2	13.6	44	67	67	115	280	280	20	5	7	b
72	2	19.5	58	76	76	124	220	220	20	5	7	b
72	3	24.5	58	76	76	124	280	280	20	5	7	b
72	6	28.4	56	86	86	138	295	295	20	5	8	b
72	6	34.5	56	86	86	138	380	380	20	5	8	b
54	1	8	58	46	46	74	135	135	20	5	7	b
54	2	9.5	58	46	46	74	175	175	20	5	7	b
54	2	10	58	52	52	85	185	185	20	5	7	b
54	1	6.2 5.8	58	52	52	85	230	230	20	5	7	b
72	2	18.4	58	61	61	94	220	220	20	5	7	b
72	4	26.3	58	61	61	94	280	280	20	5	7	b
72	4	23.3	56	71	71	104	295	295	20	5	8	b
72	4	15.7 16.8	56	71	71	104	380	380	20	5	8	b
60	2	7.9 9.1	64	46	46	74	220	220	20	5	8	b
60	2	18.9	64	46	46	74	280	280	20	5	8	b
60	5	19.9	64	56	56	84	280	280	20	5	8	b
60	5	27.1	64	56	56	84	360	360	20	5	8	b

附表8　J02系列三相异步电动机定子线圈

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子				
							电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
JO2-11-2	0.8	120	67	65	24	0.3	0.67	1	单层同心式	94	1—12 2—11
JO2-12-2	1.1	120	67	85	24	0.3	0.77	1	单层同心式	72	1—12 2—11 1—9
JO2-21-2	1.5	145	82	75	18	0.4	0.83	1	单层交叉式	80	2—10 18—11
JO2-22-2	2.2	145	82	100	18	0.4	0.93	1	单层交叉式	60	1—9 2—10 18—11
JO2-31-2	3	167	94	95	24	0.45	1.12	1	单层同心式	41	1—12 2—11
JO2-62-2	4	167	94	125	24	0.45	0.96	1	单层同心式	56	1—12 2—11
JO2-41-2	5.5	210	114	110	24	0.6	0.93	2	单层同心式	53	1—12 2—11
JO2-42-2	7.5	210	114	135	24	0.6	1.08	2	单层同心式	43	1—12 2—11
JO2-51-2	10	245	136	120	24	0.7	1.35	2	单层同心式	40	1—12 2—11
JO2-52-2	13	245	136	160	24	0.7	1.16 1.25	1 2	单层同心式	32	1—12 2—11
JO2-61-2	17	280	155	155	30	0.8	1.45	1	双叠	25	1—11
JO2-71-2	22	327	182	155	36	0.8	1.35	4	双叠	10	1—13
JO2-72-2	30	327	182	200	36	0.8	1.56 1.62	2 2	双叠	8	1—13
JO2-82-2	40	368	210	240	36	1.2	1.45	3	双叠	13	1—13
JO2-91-2	55	423	245	260	42	1.6	1.56	4	双叠	10	1—15
JO2-92-2	75	423	245	300	42	1.6	1.56	5	双叠	8	1—15
JO2-93-2	100	423	245	365	42	1.6	1.56 1.5	3 4	双叠	6	1—15

木模尺寸表（见附表5～8的附图）

绕组				定子线圈木模尺寸(mm)									
每台电动机线圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)	Z_2	A	B	D	L_1	L_2	R_1	R_2	r	b	图号
12	1*	1.63	20	86	69	—	—	151	43	35	5	8	a
12	1*	1.79	20	86	69	—	—	171	43	35	5	8	a
9	1*	1.81	16	86	73	—	190	—	43	36	10	8.5	d
9	1*	1.88	16	86	73	—	221	—	43	36	10	8.5	d
12	1*	2.84	20	116	95	—	—	215	58	47	5	10	a
12	1	3.05	20	116	95	—	—	245	58	47	5	10	a
12	1	5.81	20	138	115	—	—	251	70	57	5	10	a
12	1	6.87	20	138	115	—	—	276	70	57	5	10	a
12	1	10.5	20	175	143	—	—	273	87	72	5	12	a
12	1	11.3	20	175	143	—	—	313	87	72	5	12	a
30	2	9.7	22	100	100	158	195	195	20	—	5	11	b
36	1	18.6	28	130	130	182	195	195	20	—	5	11	b
36	1	10.8 11.2	28	130	130	182	250	250	20	—	5	11	b
36	2	26.5	28	155	155	202	280	280	20	—	5	13	b
42	2	39.3	34	177	177	234	300	300	20	—	5	13	b
42	2	43.3	34	177	177	234	340	340	20	—	5	13	b
42	2	22.6 27.1	34	177	177	234	400	400	20	—	5	13	b

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子 电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
JO2-11-4	0.6	120	75	85	24	0.25	0.57	1	单链	115	1—6
JO2-12-4	0.8	120	75	100	24	0.25	0.67	1	单链	96	1—6
JO2-21-4	1.1	145	90	85	24	0.25	0.72	1	单链	80	1—6
JO2-22-4	1.5	145	90	115	24	0.25	0.83	1	单链	62	1—6
JO2-31-4	2.2	167	104	95	36	0.3	0.96	1	单层交叉式	41	1—9 2—10 18—11
JO2-32-4	3	167	104	135	36	0.3	1.12	1	单层交叉式	31	1—9 2—10 18—11
JO2-41-4	4	210	136	100	36	0.35	1.00	1	单层交叉式	52	1—9 2—10 18—11
JO2-42-4	5.5	210	136	125	36	0.35	1.16	1	单层交叉式	42	1—9 2—10 18—11
JO2-51-4	7.5	245	162	120	36	0.4	1.06	2	单层交叉式	38	1—9 2—10 18—11
JO2-52-4	10	245	162	160	36	0.4	1.12	2	单层交叉式	29	1—9 2—10 18—11
JO2-61-4	13	280	182	155	36	0.45	1.25	1	双叠	27	1—8
JO2-62-4	17	280	182	190	36	0.45	1.45	1	双叠	21	1—8
JO2-71-4	22	327	210	190	36	0.55	1.35	2	双叠	20	1—9
JO2-72-4	30	327	210	260	36	0.55	1.56	2	双叠	15	1—9
JO2-82-4	40	368	245	275	48	0.65	1.4	3	双叠	11	1—11
JO2-91-4	55	423	280	260	60	0.85	1.5	2	双叠	17	1—13
JO2-92-4	75	423	280	340	60	0.85	1.45	3	双叠	13	1—13

（续）

每台电动机线圈数	并联支路数	电磁线直径（mm）	Z_2	定子线圈大模尺寸(mm) A	B	D	L_1	L_2	R_1	R_2	r	b	图号
12	1*	1.3	22	50	—	—	—	134	31	—	10	8	c
12	1*	1.55	22	50	—	—	—	134	31	—	10	8	c
12	1*	1.47	22	60	—	—	—	141	36	—	10	9	c
12	1*	1.74	22	60	—	—	—	171	36	—	10	9	c
18	1*	2.3	26	73	65	—	175	—	39	34	10	10	d
18	1*	2.79	26	73	[illegible]	—	215	—	39	34	10	10	d
18	1	3.57	26	94	84	—	185	—	65	53	10	10	d
18	1	3.93	26	94	84	—	210	—	65	53	10	10	d
18	1	6.14	26	110	99	—	213	—	65	56	10	11	d
18	1	6.68	26	110	99	—	253	—	65	56	10	11	d
36	2	7.6	28	75	75	125	190	190	20	—	5	9	b
36	2	8.8	28	75	75	125	225	225	20	—	5	9	b
36	2	17	26	92	92	162	230	230	20	—	5	10	b
36	2	19	26	92	92	162	300	300	20	—	5	10	b
48	2	25	38	104	104	170	315	315	20	—	5	10	b
60	4	37.6	50	120	120	187	300	300	20	—	5	10	b
60	4	46.2	50	120	120	187	380	380	20	—	5	10	b

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子				
							电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
JO2-93-4	100	423	280	380	60	0.85	1.45	4	双叠	11	1－13
JO2-21-6	0.8	115	94	85	36	0.25	0.67	1	单链	81	1－6
JO2-22-6	1.1	145	94	115	36	0.25	0.77	1	单链	61	1—6
JO2-31-6	1.5	167	114	95	36	0.3	0.93	1	单链	60	1—6
JO2-32-6	2.2	167	114	135	36	0.3	1.04	1	单链	42	1—6
JO2-41-6	3	210	148	110	36	0.35	1.2	1	单链	40	1—6
JO2-42-6	4	210	148	140	36	0.35	1.04	1	单链	55	1—6
JO2-51-6	5.5	245	174	130	36	0.35	1.2	1	单链	47	1—6
JO2-52-6	7.5	245	174	170	36	0.35	1.4	1	单链	37	1—6
JO2-61-6	10	280	200	175	54	0.4	1.16 1.12	1 1	双叠	11	1—9
JO2-62-6	13	280	200	220	54	0.4	1.35 1.3	1 1	双叠	9	1—9
JO2-71-6	17	327	230	220	54	0.45	1.5 1.45	1 1	双叠	9	1—9
JO2-72-6	22	327	230	250	54	0.45	1.2	2	双叠	14	1—9
JO2-81-6	30	368	260	240	72	0.5	1.25	2	双叠	16	1—11
JO2-82-6	40	368	260	310	72	0.5	1.45	2	双叠	12	1—11
JO2-91-6	55	423	300	320	72	0.6	1.4	3	双叠	10	1—11
JO2-92-6	75	423	300	420	72	0.6	1.4	2	双叠	15	1—11

（续）

绕组 每台电机线圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)	Z_2	定子线圈木模尺寸(mm) A	B	D	L_1	L_2	R_1	R_2	r	b	图号
60	4	51.5	50	120	120	187	420	420	20	—	5	10	b
18	1*	1.66	33	42	—	—	—	132	25	—	10	9	c
18	1*	1.94	33	42	—	—	—	162	25	—	10	9	c
18	1*	2.33	33	50	—	—	—	150	31	—	10	10	c
18	1*	2.88	33	50	—	—	—	190	31	—	10	10	c
18	1*	3.54	33	65	—	—	—	170	43	—	10	9	c
18	1	4.13	33	65	—	—	—	200	43	—	10	9	c
18	1	4.82	33	76	—	—	—	199	47	—	10	11	c
18	1	5.97	33	76	—	—	—	239	47	—	10	11	c
54	1	4.5 4.1	44	62	62	105	205	205	20	—	5	7	b
54	1	5.5 5.1	44	62	62	105	250	250	20	—	5	7	b
54	1	[illegible] 5.5	44	67	67	115	230	230	20	—	5	7	b
54	2	13.6	44	67	67	115	280	280	20	—	5	7	b
72	3	23.8	58	76	76	124	280	280	20	—	5	7	b
72	3	27.9	58	76	76	124	350	350	20	—	5	7	b
72	3	34.1	56	86	86	138	360	360	20	—	5	7	b
72	6	40.4	56	86	86	138	460	460	20	—	5	7	b

电动机型号	P_N (kW)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	Z_1	δ (mm)	定子				
							电磁线直径 (mm)	并绕根数	线圈型式	线圈匝数	节距
JO2-41-8	2.2	210	148	110	48	0.35	1.12	1	单链	37	1—6
JO2-42-8	3	210	148	140	48	0.35	1.3	1	单链	31	1—6
JO2-51-8	4	245	174	130	48	0.35	1.12	1	单链	48	1—6
JO2-52-8	5.5	245	174	170	48	0.35	1.3	1	单链	37	1—6
JO2-61-8	7.5	280	200	175	54	0.4	1.04	1	双叠	29	1—7
JO2-62-8	10	280	200	220	54	0.4	1.2	1	双叠	23	1—7
JO2-71-8	13	327	230	200	54	0.45	1.35	1	双叠	21	1—7
JO2-72-8	17	327	230	250	54	0.45	1.56	1	双叠	17	1—7
JO2-81-8	22	368	260	240	72	0.5	1.35	2	双叠	12	1—9
JO2-82-8	30	368	260	310	72	0.5	1.62	2	双叠	16	1—9
JO2-91-8	40	423	300	320	72	0.6	1.3	2	双叠	17	1—9
JO2-92-8	55	423	300	420	72	0.6	1.5	2	双叠	13	1—9
JO2-81-10	17	368	260	240	60	0.45	1.25	2	双叠	17	1—6
JO2-82-10	22	368	260	310	60	0.45	1.45	2	双叠	13	1—6
JO2-91-10	30	423	300	320	60	0.5	1.4	1	双叠	26	1—6
JO2-92-10	40	423	300	400	60	0.5	1.16	2	双叠	21	1—6

注：标有1*的这些电动机的接线为△/Y，适用于电压220/380V。表中其余电动机

（续）

绕组 每台电机线圈数	并联支路数	电磁线重量(kg)	Z_2	定子线圈木模尺寸(mm) A	B	D	L_1	L_2	K_1	R_2	r	b	图号
24	1*	3.47	44	49	—	—	—	165	30	—	10	9	c
24	1*	1.47	44	49	—	—	—	195	30	—	10	9	c
24	1	5.18	44	58	—	—	—	188	37	—	10	11	c
24	1	6.27	44	58	—	—	—	228	37	—	10	11	c
54	2	8.5	58	46	46	74	205	205	20	—	5	7	b
54	2	10	58	46	46	74	250	250	20	—	5	7	b
54	2	10.4	58	52	52	85	230	230	20	—	5	7	b
54	2	13	58	52	52	85	280	280	20	—	5	7	b
72	2	19.3	58	61	61	94	280	280	20	—	5	7	b
72	2	27.2	58	61	61	94	350	350	20	—	5	7	b
72	4	31.4	56	71	71	104	360	360	20	—	5	8	b
72	4	38.1	56	71	71	104	460	460	20	—	5	8	b
60	2	18.4	64	46	46	74	280	280	20	—	5	8	b
60	2	22.2	64	46	46	74	350	350	20	—	5	8	b
60	5	21.6	64	56	56	84	360	360	20	—	5	8	b
60	5	27.1	64	56	56	84	440	440	20	—	5	8	b

均为△接法，适用于380V。电磁线均为高强度聚酯漆包圆铜线。

附表9　J2、J02系列三相异步电动机技术数据汇总表

型　号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	δ (mm)	Z_1	接法	W_{sc}	绕组型式	线　规 (根-mm)	槽满率 (%)	b_0 (mm)	b_1 (mm)	h_0 (mm)	h_1 (mm)	R (mm)	α (°)	节　距
JO2-11-2	0.8	380	1.742	120	67	65	0.3	24	1Y	94	单层同心式	1-ϕ0.67	75.2	2.5	6.2	0.8	9.3	4.1	30	1—12 2—11
JO2-12-2	1.1	380	2.34	120	67	85	0.3	24	1Y	72	单层同心式	1-ϕ0.77	76	2.5	6.2	0.8	9.3	4.1	30	1—12 2—11
JO2-11-4	0.6	380	1.54	120	75	85	0.25	24	1Y	115	单层链式	1-ϕ0.57	68.3	2.5	6.4	0.8	9	4.2	30	1—6
JO2-12-4	0.8	380	1.982	120	75	100	0.25	24	1Y	96	单层链式	1-ϕ0.67	76.4	2.5	6.4	0.8	9	4.2	30	1—6
JO2-21-2	1.5	380	3.2	145	82	75	0.4	18	1Y	80	单层交叉式	1-ϕ0.83	80.2	3.0	9	0.8	6.9	5.4	30	2/1—9 1/1—8
JO2-22-2	2.2	380	4.54	145	82	100	0.4	18	1Y	60	单层交叉式	1-ϕ0.96	78.2	3.0	9	0.8	6.9	5.4	30	2/1—9 1/1—8
JO2-21-4	1.1	380	2.61	145	90	85	0.25	24	1Y	80	单层链式	1-ϕ0.72	66.4	2.0	6.2	0.8	10	4.3	30	1—6
JO2-22-4	1.5	380	3.43	145	90	115	0.25	24	1Y	62	单层链式	1-ϕ0.83	66.4	2.5	6.2	0.8	10	4.3	30	1—6
JO2-21-6	0.8	380	2.16	145	94	85	0.25	36	1Y	81	单层链式	1-ϕ0.67	68.8	2.5	4.8	0.8	11.8	3.4	30	1—6
JO2-22-6	1.1	380	2.865	145	94	115	0.25	36	1Y	61	单层链式	1-ϕ0.77	68.4	2.5	4.8	0.8	11.8	3.4	30	1—6
JO2-31-2	3	380	6.1	167	94	95	0.45	24	1Y	41	单层同心式	1-ϕ1.16	81	3.2	7.4	1	9	4.7	30	1—12 2—11
JO2-32-2	4	380	7.88	167	94	125	0.45	24	1△	56	单层同心式	1-ϕ1.0	84	3.2	7.4	1	9	4.7	30	1—12 2—11
JO2-31-4	2.2	380	4.81	167	104	95	0.3	36	1Y	41	单层交叉式	1-ϕ0.96	76.2	3.3	4.4	1	12	3.2	30	2/1—9 1/1—8
JO2-32-4	3	380	6.32	167	104	135	0.3	36	1Y	31	单层交叉式	1-ϕ1.12	79.2	3.3	4.4	1	12	3.2	30	2/1—9 1/1—8
JO2-31-6	1.5	380	3.7	167	114	95	0.3	36	1Y	60	单层链式	1-ϕ0.93	74.2	3.0	6	1	12.1	4	30	1—6
JO2-32-6	2.2	380	5.31	167	114	135	0.3	36	1Y	42	单层链式	1-ϕ1.04	66.25	3.0	6	1	12.1	4	30	1—6
JO2-41-2	5.5	380	10.75	210	114	110	0.5	24	1△	53	单层同心式	2-ϕ1.0	70.1	3.5	9.4	1	12.5	6.1	30	1—12 2—11
JO2-42-2	7.5	380	14.36	210	114	135	0.5	24	1△	44	单层同心式	2-ϕ1.12	82	3.5	9.4	1	12.5	6.1	30	1—12 2—11
JO2-41-4	4	380	8.33	210	136	100	0.35	36	1△	52	单层交叉式	1-ϕ1.0	77	3.5	6	1	12	4	30	2/1—9 1/1—9

注：槽形尺寸b_0、b_1、h_0、h_1、R、α等见附表10图C型所示。

（续）

型　号	B_δ	B_{t1}	B_{c1}	B_{t2}	B_{c2}	R_1	P_{Cu1}	P_{Al2}	P_{Fe}	P_z	P_j	η_1	η_2	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$	$\frac{I_{st1}}{I_N}$	$\frac{I_{st2}}{I_N}$	$\frac{M_{st1}}{M_N}$	$\frac{M_{st2}}{M_N}$
	(T)					(Ω)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(%)									
JO2-11-2	0.512	1.53	1.448	1.532	1.196	9.975	91	58	36.7	4	22	79.06	77.5	0.88	0.85	2.63	2.2	5.21	7.0	2.31	1.8
JO2-12-2	0.519	1.55	1.481	1.55	1.225	6.33	104	71.8	48.1	5.5	22	81.38	79.5	0.876	0.86	2.87	2.2	5.9	7.0	2.69	1.8
JO2-11-4	0.561	1.483	1.197	1.431	0.953	14.5	103.2	52	31.1	3	15	74.55	74	0.792	0.76	2.24	2.0	6.23	7.0	2.0	1.8
JO2-12-4	0.575	1.519	1.238	1.467	0.984	9.45	111.8	69.35	38.15	4	15	77.03	76.5	0.793	0.77	2.28	2.0	1.31	7.0	2.25	1.8
JO2-21-2	0.597	1.465	1.328	1.295	1.258	4.77	147	85.5	58.9	7.5	55	81.0	81	0.874	0.87	2.37	2.2	5.25	7.0	1.91	1.8
JO2-22-2	0.605	1.485	1.35	1.311	1.276	2.955	180	117.5	79.05	11	55	83.25	82.5	0.89	0.87	2.45	2.2	5.85	7.0	2.16	1.8
JO2-21-4	0.690	1.433	1.25	1.453	1.15	6.76	137.8	68.2	53	5.5	20	79.4	79	0.805	0.79	2.32	2.0	5.1	7.0	2.28	1.8
JO2-22-4	0.672	1.386	1.207	1.413	1.166	4.54	160	95	65.5	7.5	20	81.1	80.5	0.816	0.81	2.34	2.0	5.13	7.0	2.26	1.8
JO2-21-6	0.628	1.509	1.067	1.513	0.707	10.03	140	58.6	38.9	4	12	75.95	75	0.74	0.70	2.59	1.8	4.26	6.5	2.26	1.8
JO2-22-6	0.626	1.50	1.059	1.503	0.702	6.74	166	77.9	50.9	5.5	12	77.9	77	0.746	0.72	2.63	1.8	4.47	6.5	2.36	1.8
JO2-31-2	0.620	1.47	1.375	1.417	1.425	2.03	222	133	102.3	15	70	84.7	84	0.89	0.88	2.54	2.2	5.9	7.0	2.03	1.8
JO2-32-2	0.602	1.424	1.324	1.37	1.374	4.12	253	173	122.5	20	70	86.2	85.5	0.902	0.88	2.63	2.2	6.22	7.0	2.1	1.8
JO2-31-4	0.721	1.401	1.28	1.5	1.232	3.35	233	114	79.4	11	25	82.62	82.6	0.838	0.83	2.51	2.0	5.5	7.0	2.13	1.8
JO2-32-4	0.685	1.33	1.20	1.43	1.155	2.19	273	158	98.5	15	25	84.0	83.5	0.84	0.84	2.55	2.0	5.84	7.0	2.43	1.8
JO2-31-6	0.640	1.59	1.295	1.342	0.64	4.465	189	99.3	66.9	7.5	15	79.7	78.5	0.758	0.74	2.52	1.8	4.53	6.5	2.22	1.8
JO2-32-6	0.641	1.59	1.31	1.348	0.648	3.02	261.5	134	95.34	11	15	81.0	80.5	0.766	0.76	2.96	1.8	4.92	6.5	2.41	1.8
JO2-41-2	0.580	1.472	1.23	1.527	1.446	2.09	242.5	178.5	152	27.5	160	87.84	86.5	0.882	0.88	2.47	2.2	6.14	7.0	1.79	1.6
JO2-42-2	0.557	1.452	1.212	1.51	1.424	1.485	297.5	223	168.3	37.5	160	89.4	87.5	0.90	0.89	2.32	2.2	6.12	7.0	1.70	1.6
JO2-41-4	0.730	1.484	1.284	1.42	1.112	4.47	309	161	129.9	20	45	85.75	85	0.854	0.85	2.4	2.0	5.8	7.0	2.12	1.8

（续）

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	δ (mm)	Z_1	接法	N_{cc}	绕组型式	线规 (根-mm)	槽满率 (%)	b_c (mm)	b_1 (mm)	h_c (mm)	h_1 (mm)	h' (mm)	α (°)	节距
JO2-42-4	5.5	380	11.18	210	136	125	0.35	36	1△	41	单层交叉式	1-φ1.2	76.3	3.5	6	1	12	4	30	2/1—9 1/1—8
JO2-41-6	3	380	6.8	210	148	110	0.35	36	1Y	49	单层链式	1-φ1.2	68	4.0	6.8	1	12.7	4.4	30	1—6
JO2-42-6	4	380	8.92	210	148	140	0.35	36	1△	55	单层链式	1-φ1.04	71.9	4.0	6.8	1	12.7	4.4	30	1—6
JO2-41-8	2.2	380	6.99	210	148	110	0.35	48	1Y	37	单层链式	1-φ1.12	55.5	3.9	5.2	1	15	3.5	30	1—6
JO2-42-8	3	380	7.42	210	148	140	0.35	48	1Y	31	单层链式	1-φ1.3	72	3.9	5.2	1	15	3.5	30	1—6
JO2-51-2	10	380	19.18	245	136	120	0.6	24	1△	40	单层同心式	1-φ1.4	71.2	4.0	11.4	1	14	7.2	30	1—12 2—11
JO2-52-2	13	380	24.3	245	136	160	0.6	24	1△	32	单层同心式	1-φ1.35 1-φ1.16 2-φ1.25	77	4.0	11.4	1	14	7.2	30	1—12 2—11
JO2-51-4	7.5	380	14.95	245	162	120	0.4	36	1△	38	单层交叉式	2-φ1.0	77	4.0	7.4	1	13.5	4.8	30	2/1—9 1/1—8
JO2-52-4	10	380	19.74	245	162	160	0.4	36	1△	29	单层交叉式	2-φ1.12	72.2	4.0	7.4	1	13.5	4.8	30	2/1—9 1/1—8
JO2-51-6	5.5	380	11.92	245	174	130	0.35	36	1△	47	单层链式	1-φ1.2	65.4	4.0	7.8	1	13.4	4.9	30	1—6
JO2-52-6	7.5	380	15.77	245	174	170	0.35	36	1△	37	单层链式	1-φ1.4	68.1	4.0	7.8	1	13.4	4.9	30	1—6
JO2-51-8	4	380	9.22	245	174	130	0.35	48	1△	48	单层链式	1-φ1.12	73.2	3.9	5.2	1	16.5	3.7	30	1—6
JO2-52-8	5.5	380	12.4	245	174	170	0.35	48	1△	37	单层链式	1-φ1.3	74.2	3.9	5.2	1	16.5	3.7	30	1—6
JO2-61-2	17	380	31.3	280	155	150	0.8	30	2△	50	双层叠绕	1-φ1.45	81.7	3.5	8.6	1.5	14.8	5.7	30	1—11
JO2-61-4	13	380	25.4	280	282	150	0.45	36	2△	54	双层叠绕	1-φ1.25	78.5	3.5	7.8	1	14.8	5.1	30	1—8
JO2-62-4	17	380	33.0	280	282	190	0.45	36	2△	42	双层叠绕	1-φ1.45	80.5	3.5	7.8	1	14.8	5.1	30	1—8
JO2-61-6	10	380	20.7	280	200	175	0.4	54	1△	22	双层叠绕	1-φ1.16	65.8	3.5	5	1	19.17	3.7	35	—9
JO2-62-6	13	380	26.2	280	200	220	0.4	54	1△	18	双层叠绕	1-φ1.12 1-φ1.35	72.5	3.5	5.4	1	19.17	3.7	35	1—9
JO2-61-8	7.5	380	16.4	280	200	175	0.4	54	2△	58	双层叠绕	1-φ1.3 1-φ1.04	77	3.5	5.4	1	19.17	3.7	35	1—7

（续）

型　号	B_δ	B_{t1}	B_{c1}	B_{t2}	B_{c2}	R_1	P_{Cu1}	P_{Al2}	P_{Fe}	P_r	P_j	η_1	η_2	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$	$\frac{I_{st1}}{I_N}$	$\frac{I_{st2}}{I_N}$	$\frac{M_{st1}}{M_N}$	$\frac{M_{st2}}{M_N}$
	(T)					(Ω)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(%)									
JO2-42-4	0.742	1.51	1.31	1.445	1.140	2.675	341	237.5	167.5	27.5	45	87.05	86	0.85	0.86	2.69	2.0	6.52	7.0	1.74	1.8
JO2-41-6	0.670	1.410	1.266	1.27	0.623	2.08	295	142	114.6	15	35	83.35	82.5	0.795	0.78	2.37	1.8	5.04	6.5	1.97	1.8
JO2-42-6	0.664	1.40	1.250	1.26	0.664	4.34	348	191	141.2	20	35	85.1	84	0.796	0.79	2.32	1.8	5.05	6.5	2.01	1.8
JO2-41-8	0.697	1.515	1.16	1.49	0.473	2.71	292	99.7	103.8	11	20	80.7	80.5	0.689	0.68	3.02	1.8	4.87	5.5	2.33	1.8
JO2-42-8	0.666	1.445	1.086	1.422	0.443	1.935	319.5	153	116.7	15	20	82.8	82.5	0.74	0.72	2.61	1.8	4.61	5.5	2.03	1.8
JO2-51-2	0.569	1.49	1.295	1.60	1.40	0.947	347	243.5	240.8	50	320	88.9	87.5	0.895	0.89	2.32	2.2	5.96	7.0	1.32	1.4
JO2-52-2	0.558	1.450	1.24	1.55	1.34	0.704	417	300	299.7	65	320	90.3	88	0.912	0.90	2.22	2.2	6.35	7.0	1.48	1.4
JO2-51-4	0.702	1.482	1.32	1.35	1.082	1.90	428	268	209.3	37.5	100	87.8	87	0.863	0.87	2.18	2.0	5.55	7.0	1.91	1.4
JO2-52-4	0.698	1.472	1.31	1.342	1.072	1.81	509	334.6	272.4	50	100	88.7	87.5	0.887	0.87	2.27	2.0	6.05	7.0	2.15	1.4
JO2-51-6	0.711	1.460	1.279	1.295	0.591	2.845	410	214	171.5	27.5	45	86.32	85	0.804	0.80	2.26	1.8	5.66	6.5	2.43	1.4
JO2-52-6	0.697	1.430	1.24	1.270	0.565	1.895	474	295.5	231.4	37.5	45	87.4	86	0.824	0.81	2.16	1.8	5.64	6.5	1.94	1.4
JO2-51-8	0.693	1.316	1.073	1.36	0.409	1.03	344	179.5	139.9	20	30	84.85	84	0.775	0.75	2.4	1.8	4.85	5.5	1.79	1.5
JO2-52-8	0.692	1.313	1.07	1.358	0.407	2.69	415	248	179.8	27.5	30	85.95	85	0.785	0.77	2.85	1.8	4.92	5.5	1.83	1.5
JO2-61-2	0.630	1.362	1.29	1.222	1.272	0.6475	637.5	410	398	85	450	89.56	88.5	0.92	0.90	2.78	2.2	6.87	7.0	1.79	1.3
JO2-61-4	0.731	1.505	1.282	1.305	1.086	0.975	630	363	346	65	150	89.31	88	0.87	0.88	2.26	2.0	6.33	7.0	2.08	1.3
JO2-62-4	0.762	1.565	1.352	1.36	1.146	0.62	674	438	460.5	85	150	90.38	89	0.867	0.88	2.47	2.0	7.11	7.0	2.49	1.3
JO2-61-6	0.689	1.352	1.50	1.266	0.596	1.485	640	357	331	57	100	87.08	87	0.84	0.82	2.34	1.8	4.95	6.5	1.89	1.4
JO2-62-6	0.604	1.265	1.40	1.112	0.524	1.037	708	502	381	73	100	88.04	87.5	0.86	0.83	2.14	1.8	4.65	6.5	1.75	1.4
JO2-61-8	0.614	1.284	1.074	1.291	0.355	2.08	556	298	223	43	60	86.37	86	0.808	0.78	2.33	1.8	4.45	5.5	1.49	1.3

（续）

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	δ (mm)	Z_1	接法	W_{sc}	绕组型式	线规 (根-mm)	槽满率 (%)	b_0 (mm)	b_1 (mm)	h_0 (mm)	h_1 (mm)	R (mm)	α (°)	节距
JO2-62-8	10	380	21.4	280	200	220	0.4	54	2△	46		1-φ1.2	78.7	3.5	5.4	1	19.17	3.7	35	1—7
J2-71-2	30	380	55.2	327	182	130	0.8	36	1△	20		4-φ1.3	67.9	3.5	9.4	1.5	2	6.4	30	1—13
J2-72-2	40	380	73.4	327	182	155	0.8	36	1△	16		4-φ1.5	70.7	3.5	9.4	1.5	21	6.4	30	1—13
JO2-71-2	22	380	40.7	327	182	155	0.8	36	1△	20		1-φ1.35	72.8	3.5	9.4	1.5	21	6.4	30	1—13
JO2-72-2	30	380	54.3	327	182	200	0.9	36	1△	16		2-φ1.56 2-φ1.62	79.2	3.5	9.4	1.5	21	6.4	30	1—13
J2-71-4	22	380	41.9	327	210	145	0.5	36	1△	24		3-φ1.4	78	3.5	9.2	1.5	19.5	6.1	35	1—9
J2-72-4	30	380	56.6	327	210	190	0.5	36	4△	74		1-φ1.4	80.3	3.5	9.2	1.5	19.5	6.1	35	1—9
JO2-71-4	22	380	41.5	327	210	190	0.6	36	2△	40		2-φ1.35	73.7	3.5	9.2	1.5	19.5	6.1	35	1—9
JO2-72-4	30	380	55.8	327	210	260	0.6	36	2△	30		2-φ1.56	79.4	3.5	9.2	1.5	19.5	6.1	35	1—9
J2-71-6	17	380	33.8	327	230	155	0.45	54	2△	40		1-φ1.4	72	3.5	5.5	1.2	22	4	35	1—9
J2-72-6	22	380	42.9	327	230	200	0.45	54	2△	32	双层叠绕	1-φ1.62	75.6	3.5	5.5	1.2	22	4	35	1—9
JO2-71-6	17	380	33.3	327	230	200	0.45	54	1△	18		1-φ1.5 1-φ1.45	71.5	3.5	5.5	1.2	22	4	35	1—9
JO2-72-6	22	380	43.2	327	230	250	0.45	54	2△	28		2-φ1.2	75.6	3.5	5.5	1.2	22	4	35	1—9
J2-71-8	13	380	27.7	327	230	155	0.45	54	2△	50		1-φ1.3	78.4	3.5	5.5	1.2	22	4	35	1—7
J2-72-8	17	380	35.7	327	230	200	0.45	54	1△	20		1-φ1.45 1-φ1.5	79.3	3.5	5.5	1.2	22	4	35	1—7
JO2-71-8	13	380	27.7	327	230	200	0.45	54	2△	42		1-φ1.35	70.6	3.5	5.5	1.2	22	4	35	1—7
JO2-72-8	17	380	35.5	327	230	250	0.45	54	2△	34		1-φ1.56	74.8	3.5	5.5	1.2	22	4	35	1—7
J2-81-2	55	380	98.8	368	210	180	1.2	36	2△	28		1-φ1.45 2-φ1.5	78.8	3.8	11.4	2	20	7.3	30	1—13
J2-82-2	75	380	133	368	210	230	1.2	36	2△	22		2-φ1.25 3-φ1.3	78.3	3.8	11.4	2	20	7.3	30	1—13

（续）

型　号	B_δ	B_{t1}	B_{c1}	B_{t2}	B_{c2}	R_1	P_{Cu1}	P_{Al2}	P_{Fe}	P_z	P_j	η_1	η_2	$\cos\Phi_1$	$\cos\Phi_2$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$	$\frac{I_{st1}}{I_N}$	$\frac{I_{st2}}{I_N}$	$\frac{M_{st1}}{M_N}$	$\frac{M_{st2}}{M_N}$
	（T）					（Ω）	（W）	（W）	（W）	（W）	（W）	（%）									
JO2-62-8	0.623	1.305	1.097	1.310	0.362	1.395	637	392	290	57	60	87.45	87	0.814	0.80	2.39	1.8	4.70	5.5	1.65	1.3
J2-71-2	0.614	1.53	1.45	1.36	1.542	0.432	1310	678	579	165	320	90.28	89.5	0.916	0.91	2.16	2.2	5.21	7.0	1.25	1.1
J2-72-2	0.636	1.589	1.535	1.409	1.63	0.274	455	830	746	218	320	91.8	90.5	0.91	0.91	2.32	2.2	5.85	6.5	1.52	1.1
JO2-71-2	0.547	1.36	1.25	1.208	1.33	0.423	702	416	492	124	1100	88.6	88.5	0.925	0.90	2.62	2.2	6.16	7.0	1.51	1.2
JO2-72-2	0.535	1.325	1.212	1.176	1.292	0.268	789	566	587	165	1100	90.34	89.5	0.93	0.91	2.55	2.2	6.26	7.0	1.6	1.2
J2-71-4	0.694	1.428	1.282	1.44	0.946	0.589	1033	539	445	121	165	90.52	89.5	0.881	0.88	1.89	2.0	5.73	7.0	1.39	1.1
J2-72-4	0.721	1.478	1.355	1.50	1.0	0.3495	1117	708	586	161	165	91.61	90	0.88	0.88	1.97	2.0	6.3	7.0	1.68	1.1
JO2-71-4	0.678	1.389	1.242	1.41	0.917	0.451	773	464.5	484	121	300	91.2	89.5	0.885	0.88	2.12	2.0	6.6	7.0	1.65	1.2
JO2-72-4	0.666	1.365	1.215	1.38	0.895	0.2742	850	633	620	165	300	92.2	90	0.89	0.88	2.08	2.0	6.86	7.0	1.82	1.2
J2-71-6	0.735	1.33	1.426	1.30	0.571	0.825	941	555	444	95	140	88.65	88	0.862	0.84	2.30	1.8	5.25	6.5	1.71	1.2
J2-72-6	0.716	1.295	1.39	1.275	0.556	0.502	1042	733	538	122	140	89.5	88.5	0.87	0.85	2.24	1.8	5.34	6.5	1.77	1.2
JO2-71-6	0.645	1.165	1.235	1.15	0.435	0.762	850	566	423	95	200	88.85	88.5	0.873	0.84	2.23	1.8	5.20	6.5	1.67	1.4
JO2-72-6	0.666	1.20	1.27	1.185	0.512	0.508	950	695	555	121	200	89.7	89	0.864	0.85	2.37	1.8	5.51	6.5	1.82	1.4
J2-71-8	0.760	1.375	1.112	1.38	0.419	1.085	832	494	336	73	120	87.55	87	0.815	0.81	2.33	1.8	4.75	5.5	1.63	1.1
J2-72-8	0.750	1.35	1.095	1.36	0.412	0.776	995	685	413	95	120	88.05	87.5	0.82	0.82	2.25	1.8	4.62	5.5	1.60	1.1
JO2-71-8	0.718	1.296	1.04	1.305	0.393	0.974	752	432	372	73	150	88	87.5	0.81	0.81	2.61	1.8	5.18	5.5	1.76	1.3
JO2-72-8	0.709	1.28	1.025	1.29	0.387	0.676	856	592	455	95	150	88.8	88	0.82	0.82	2.52	1.8	5.11	5.5	1.64	1.3
J2-81-2	0.575	1.52	1.325	1.354	1.268	0.1935	1875	1022	836.2	275	680	92.14	91	0.922	0.92	1.91	2.2	4.71	6.5	0.96	1.0
J2-82-2	0.580	1.53	1.33	1.358	1.27	0.1336	2360	1353	1071.5	375	680	92.74	97.5	0.922	0.92	2.0	2.2	5.03	6.5	1.12	1.0

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	δ (mm)	Z_1	接法	W_{1d}	绕组型式	线规 (根·mm)	槽满率 (%)	b_0 (mm)	b_1 (mm)	h_0 (mm)	h_1 (mm)	R (mm)	α (°)	节距
JO2-82-2	40	380	71.8	368	210	240	1.2	36	2△	26		1-φ1.5 2-φ1.56	78.4	3.8	11.4	2	20	7.3	30	1—13
J2-81-4	40	380	74.4	368	245	180	0.65	48	4△	54		1-φ1.5	79.7	3.8	8.6	2	21	5.6	35	1—11
J2-82-4	55	380	100	368	245	240	0.65	48	2△	20		3-φ1.5	78.5	3.8	8.6	2	21	5.6	35	1—11
JO2-82-4	40	380	73.6	368	245	275	0.75	48	2△	22		3-φ1.4	76	3.8	8.6	2	21	5.6	35	1—11
J2-81-6	30	380	57.5	368	260	180	0.5	72	2△	24		2-φ1.4	72	3.5	5.6	1.5	26.5	3.9	35	1—11
J2-82-6	40	380	75.4	368	260	240	0.5	72	3△	28		2-φ1.35	78.5	3.5	5.6	1.5	26.5	3.9	35	1—11
JO2-81-6	30	380	56.2	368	260	240	0.5	72	3△	32		2-φ1.25	77.8	3.5	5.6	1.5	26.5	3.9	35	1—11
JO2-82-6	40	380	73.8	368	260	310	0.5	72	2△	24		2-φ1.45	76.9	3.5	5.6	1.5	26.5	3.9	35	1—11
J2-81-8	22	380	45.2	368	260	180	0.5	72	2△	30		2-φ1.25	73	3.5	5.6	1.5	26.5	3.9	35	1—9
J2-82-8	30	380	60.3	368	260	240	0.5	72	1△	46		1-φ1.5	78.5	3.5	5.6	1.5	26.5	3.9	35	1—9
JO2-81-8	22	380	45	368	260	240	0.5	72	2△	24	双层叠绕	2-φ1.35 2-φ1.62	67.2	3.5	5.6	1.5	26.5	3.9	35	1—9
JO2-82-8	30	380	59.8	368	260	310	0.5	72	2△	20		1-φ1.16	78.6	3.5	5.6	1.5	26.5	3.9	35	1—9
J2-81-10	17	380	38.6	368	260	180	0.45	60	2△	40		1-φ1.25	76.4	3.5	5.8	1.2	28.5	4.3	35	1—6
J2-82-10	22	380	49.7	368	260	240	0.45	60	1△	30		2-φ1.35	70.5	3.5	5.8	1.2	28.5	4.3	35	1—6
JO2-81-10	17	380	38	368	260	240	0.45	60	2△	34		2-φ1.25	69.5	3.5	5.8	1.2	28.5	4.3	35	1—6
JO2-82-10	22	380	49.2	368	260	310	0.45	60	2△	26		2-φ1.45	70	3.5	5.8	1.2	28.5	4.3	35	1—6
J2-91-2	100	380	176.3	423	245	220	1.25	42	2△	16		5-φ1.45	69.3	3.8	11.2	2	21.5	7.1	30	1—15
J2-92-2	125	380	220	423	245	260	1.5	42	2△	14		5-φ1.68	79.8	3.8	11.2	2	21.5	7.1	30	1—15
JO2-91-2	55	380	98.9	423	245	260	1.6	42	2△	20		4-φ1.56	76.8	3.8	11.2	2	21.5	7.1	30	1—15

（续）

型号	B_δ	B_{t1}	B_{c1}	B_{t2}	B_{c2}	R_1 (Ω)	P_{Cu1} (W)	P_{Al2} (W)	P_{Fe} (W)	P_s (W)	P_j (W)	η_1 (%)	η_2 (%)	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{T_{st}}{T_N}$	$\frac{T_{max2}}{T_N}$	$\frac{T_{st2}}{T_N}$	$\frac{I_{st2}}{I_N}$	$\frac{I_{st1}}{I_N}$	$\frac{M_{st2}}{M_N}$
JO2-82-2	0.486	1.285	1.094	1.145	1.044	0.1848	961	578	703.2	200	700	90.63	90	0.93	0.91	2.68	2.2	5.7	6.5	1.23	1.2
J2-81-4	0.650	1.45	1.37	1.447	1.255	0.2892	1620	715	725	220	250	91.88	91	0.89	0.89	2.0	2.0	5.5	6.5	1.55	1.1
J2-82-4	0.680	1.519	1.405	1.466	1.247	0.1638	1650	928	917	275	250	93.08	91.5	0.896	0.89	2.09	2.0	6.06	6.5	1.79	1.1
JO2-82-4	0.555	1.237	1.115	1.233	1.022	0.221	1310	630	690	220	670	92.05	91	0.897	0.89	2.05	2.0	5.64	6.5	1.57	1.2
J2-81-6	0.63	1.41	1.53	1.539	0.631	0.386	1220	640	650	165	140	91.35	89.5	0.86	0.86	2.51	1.8	6.01	6.5	1.75	1.2
J2-82-6	0.670	1.39	1.49	1.51	0.619	0.249	1400	869	860	220	140	92.0	90.5	0.879	0.87	2.5	1.8	6.14	6.5	1.82	1.2
JO2-81-6	0.608	1.26	1.303	1.372	0.51	0.333	1060	640	655	165	280	91.5	89.5	0.888	0.86	2.43	1.8	5.86	6.5	1.62	1.4
JO2-82-6	0.636	1.32	1.355	1.435	0.561	0.2135	1173	792	936	220	280	92.1	90.5	0.891	0.87	2.61	1.8	6.57	6.5	1.87	1.4
J2-81-8	0.691	1.432	1.175	1.558	0.490	0.5508	1160	569	505	120	100	90	88.5	0.82	0.82	2.26	1.8	4.98	5.5	1.59	1.1
J2-82-8	0.685	1.42	1.153	1.545	0.489	0.348	1270	738	610	165	100	91.1	89	0.83	0.83	2.23	1.8	5.06	5.5	1.64	1.1
JO2-81-8	0.683	1.417	1.12	1.541	0.465	0.448	913	433	612	120	170	90.7	88.5	0.819	0.82	2.68	1.8	5.88	5.5	1.83	1.3
JO2-82-8	0.630	1.314	1.033	1.43	0.429	0.304	1080	715	660	165	170	91.48	89	0.836	0.83	2.20	1.8	5.11	5.5	1.58	1.3
J2-81-10	0.802	1.477	1.145	1.534	0.402	0.607	905	512	537	93.5	70	88.95	87	0.752	0.76	2.48	1.8	4.80	5.5	1.73	1.1
J2-82-10	0.807	1.485	1.154	1.54	0.406	0.433	1072	610	719	121	70	89.5	88	0.752	0.77	2.63	1.8	5.19	5.5	1.90	1.1
JO2-81-10	0.731	1.348	1.018	1.398	0.358	0.570	824	482	569	93.5	120	89.05	87.5	0.764	0.76	2.56	1.8	4.89	5.5	1.65	1.2
JO2-82-10	0.746	1.37	1.036	1.42	0.365	0.385	928	594	760	121	120	89.75	88	0.758	0.77	2.73	1.8	5.16	5.5	1.79	1.2
J2-91-2	0.592	1.554	1.41	1.448	1.345	0.0926	2890	1302	1504	535	100	93.19	92	0.923	0.92	2.36	2.2	5.80	6.5	1.18	1.0
J2-92-2	0.585	1.54	1.37	1.428	1.308	0.0641	3090	1712	1665	669	110	93.83	92.5	0.923	0.92	2.38	2.2	5.63	6.5	1.19	1.0
JO2-91-2	0.427	1.122	0.965	1.075	0.93	0.133	1348	721	767	302.5	2800	90.25	90	0.935	0.92	2.53	2.2	5.41	6.5	1.04	1.2

（续）

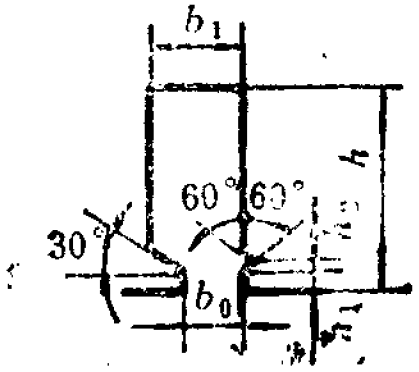
型　号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	L (mm)	δ (mm)	Z_1	接法	W_{sc}	绕组型式	线　规 (根-mm)	槽满率 (%)	b_0 (mm)	b_1 (mm)	h_0 (mm)	h_1 (mm)	R (mm)	α (°)	节　距
JO2-92-2	75	380	132.5	423	245	360	1.6	42	2△	16		3-φ1.56	79.4	3.8	11.2	2	21.5	7.1	30	1—15
JO2-93-2	100	380	180.1	423	245	365	1.7	42	2△	12		7-φ1.56	80	3.8	11.2	2	21.5	7.1	30	1—15
J2-91-4	75	380	135.7	423	280	210	0.85	60	2△	16		4-φ1.5	70	3.8	8	2	27	5.4	35	1—13
J2-92-4	100	380	179.6	423	280	260	0.85	60	4△	26		3-φ1.45	79.7	3.8	8	2	27	5.4	35	1—13
JO2-91-4	55	380	99.3	423	280	260	0.85	60	4△	34		2-φ1.5	74	3.8	8	2	27	5.4	35	1—13
JO2-92-4	75	380	134.2	423	280	340	0.85	60	4△	26		3-φ1.45	79.7	3.8	8	2	27	5.4	35	1—13
JO2-93-4	100	380	182	423	280	380	0.85	60	4△	22		4-φ1.4	78	3.8	8	2	27	5.4	35	1—13
J2-91-6	55	380	100.1	423	300	255	0.5	72	6△	46		1-φ1.56	76	3.5	6.2	1.5	26.8	4.2	35	1—11
J2-92-6	75	380	139.3	423	300	340	0.5	72	6△	34		2-φ1.3	79	3.5	6.2	1.5	26.8	4.2	35	1—11
JO2-91-6	55	380	101	423	300	320	0.6	72	3△	20		3-φ1.4	79.9	3.5	6.2	1.5	26.8	4.2	35	1—11
JO2-92-6	75	380	139	423	300	420	0.6	72	6△	30	双层叠绕	2-φ1.4	80	3.5	6.2	1.5	26.8	4.2	35	1—11
J2-91-8	40	380	78.2	423	300	255	0.5	72	4△	36		2-φ1.16 1-φ1.4	68	3.5	6.2	1.5	26.8	4.2	35	1—9
J2-92-8	55	380	109.3	423	300	340	0.5	72	4△	28		1-φ1.45	77	3.5	6.2	1.5	26.8	4.2	35	1—9
JO2-91-8	40	380	79.7	423	300	320	0.6	72	4△	34		2-φ1.3	78.9	3.5	6.2	1.5	26.8	4.2	35	1—9
JO2-92-8	55	380	109.2	423	300	420	0.6	72	4△	26		2-φ1.5	79	3.5	6.2	1.5	26.8	4.2	35	1—9
J2-91-10	30	380	65.0	423	300	240	0.5	60	5△	62		2-φ1.35	80.9	3.5	5	1	31.5	4.1	35	1—6
J2-92-10	40	380	87	423	300	320	0.5	60	5△	48		1-φ1.62	75	3.5	5	1	31.5	4.1	35	1—6
JO2-91-10	30	380	65.4	423	300	320	0.5	60	5△	52		1-φ1.4	72.5	3.5	5	1	31.5	4.1	35	1—6
JO2-92-10	40	380	87	423	300	400	0.5	60	5△	42		2-φ1.16	80	3.5	5	1	31.5	4.1	35	1—6

（续）

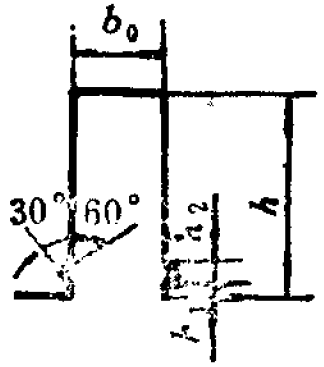
型　号	B_δ	B_{t1}	B_{c1}	B_{t2}	B_{c2}	R_1	P_{Cu1}	P_{Al2}	P_{Fe1}	P_x	P_j	η_1	η_2	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$	$\frac{I_{st1}}{I_N}$	$\frac{I_{st2}}{I_N}$	$\frac{M_{st1}}{M_N}$	$\frac{M_{st2}}{M_N}$
	(T)					(Ω)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(%)									
JO2-92-2	0.463	1.212	1.048	1.165	1.032	0.0902	1583	997	1041	409	2800	91.75	91	0.936	0.92	2.64	2.2	5.93	6.5	1.19	1.1
JO2-93-2	0.511	1.352	1.17	1.275	1.33	0.0527	1670	1070	1370	2000	3400	91.4	91.5	0.936	0.92	2.61	2.2	5.95	6.5	1.47	1.1
J2-91-4	0.665	1.54	1.455	0.525	1.187	0.1227	2250	1184	1210	415	380	93.23	92	0.902	0.90	2.33	2.0	6.0	6.5	1.57	1.0
J2-92-4	0.666	1.54	1.455	0.527	1.187	0.0785	2530	613	1490	550	380	93.86	92.5	0.904	0.90	2.27	2.0	6.0	6.5	1.65	1.0
JO2-91-4	0.516	1.26	1.118	0.25	0.913	0.1434	1415	87[illegible]	870	300	1200	92.2	91.5	0.912	0.89	2.3	2.0	5.66	6.5	1.41	1.2
JO2-92-4	0.551	1.27	1.13	0.26	0.922	0.0898	1620	1160	1135	415	1200	93.15	92	0.91	0.90	2.35	2.0	6.0	6.5	1.58	1.1
JO2-93-4	0.581	1.35	1.19	1.41	1.12	0.059	1855	1295	1204	2000	1200	93	92.5	0.923	0.90	2.13	2.0	6.13	6.5	1.51	1.1
J2-91-6	0.683	1.353	1.32	1.376	0.638	0.1656	1650	995	1053	302	253	92.8	91.5	0.90	0.88	2.3	1.8	6.15	6.5	1.84	1.0
J2-92-6	0.690	1.37	1.33	1.45	0.652	0.1038	2020	1295	1431	1500	250	92	92	0.89	0.89	2.42	1.8	6.16	6.5	1.73	1.0
JO2-91-6	0.643	1.288	1.213	1.171	0.574	0.1353	1380	909	1118	302.5	480	92.92	91.5	0.89	0.88	2.56	1.8	6.62	6.5	1.91	1.2
JO2-92-6	0.654	1.292	1.232	1.37	0.60	0.0905	1740	1215	1489	1500	410	92.2	92	0.889	0.89	2.49	1.8	6.41	6.5	1.85	1.2
J2-91-8	0.732	1.444	1.032	1.476	0.524	0.247	1527	720	859	220	200	91.9	90	0.842	0.84	2.4	1.8	5.83	5.5	1.9	1.1
J2-92-8	0.722	1.43	1.04	1.46	0.507	0.1517	1840	1090	1054	1100	200	91.2	91	0.845	0.84	2.29	1.8	5.42	5.5	1.82	1.1
JO2-91-8	0.611	1.304	0.922	1.289	0.436	0.2127	1344	810	811.5	220	500	91.58	90	0.835	0.84	2.19	1.8	5.05	5.5	1.56	1.3
JO2-92-8	0.648	1.285	0.907	1.31	0.442	0.1463	1728	1166	1055	1100	200	91.3	91	0.841	0.81	2.13	1.8	4.91	5.5	1.5	1.3
J2-91-10	0.867	1.37	1.043	1.32	0.395	0.2932	1242	999	855	165	190	89.7	88.5	0.781	0.78	2.5	1.8	5.03	5.5	1.86	1.0
J2-92-10	0.849	1.32	1.10	1.317	0.391	0.1853	1392	1420	970	480	100	90.1	89.5	0.78	0.78	2.43	1.8	4.83	5.5	1.79	1.0
JO2-91-10	0.799	1.257	0.942	1.21	0.356	0.276	1120	921	954	165	250	89.4	88.5	0.78	0.78	2.51	1.8	5.2	5.5	1.86	1.2
JO2-92-10	0.786	1.221	1.002	1.216	0.313	0.191	1350	1340	955	480	150	90.1	89.5	0.78	0.78	2.48	1.8	4.98	5.5	1.79	1.2

注：1．铁心采用D22硅钢片。2．定子绕组采用QZ高强度聚酯漆包圆铜线。3．转子铸铝用*Al*-5铝。4．定子槽绝缘：1～2号机座用0.22mm厚聚酯薄膜绝缘纸。

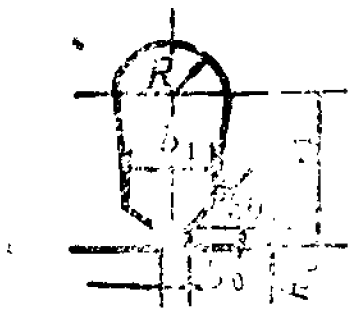
附表10　J2、J02、JS、JSQ、JR、JRQ系列三相异步电动机槽形尺寸表　(mm)



A 型

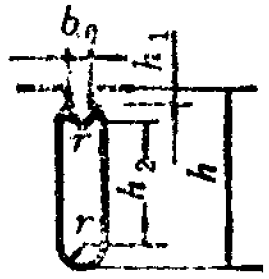


B 型



C 型

槽形	h	b_0	b_1	h_1	h_2
A_1	43	5.4	9.3	1	3
A_2	44.5	6.1	10.7	1	3
A_4	44	6.6	12.2	1	3
A_8	47	5.9	9.3	1	3

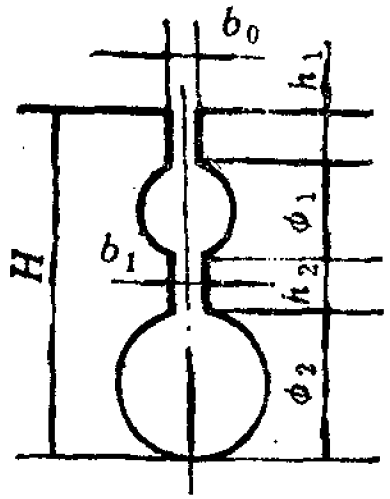


D 型

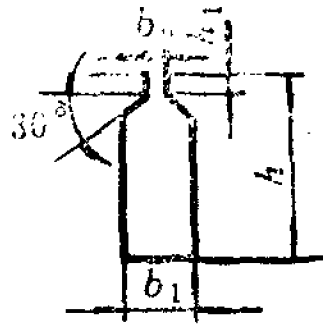
槽形	h	b_0	r	h_1	h_2
D_1	46	2	3.5	3	36
D_2	38	2	2.5	3	30
D_4	42.5	2	3.25	3	33
D_5	33	2	3.5	3	26

槽形	h	b_0	h_1	h_2
B_1	50	12.5	1	3.5
B_3	48.5	12.7	1	3.5
B_4	53	12.2	1	3.5
B_5	50	13	1	3.5
B_6	55	13.7	1	3.5
B_7	58	13.8	1	3.5
B_8	55.5	14.2	1	3.5
B_9	62	12.5	1	3.5
B_{10}	56	11.7	1	3.5

槽形	h_1	b_0	b_1	R	h_0
C_1	30	4	8	5.2	0.8
C_2	30.8	4	8.6	5.5	0.8
C_3	35.3	4	6.5	4.4	0.8
C_4	35	4	9.5	6.2	0.8
C_5	38	4	7	4.5	0.8

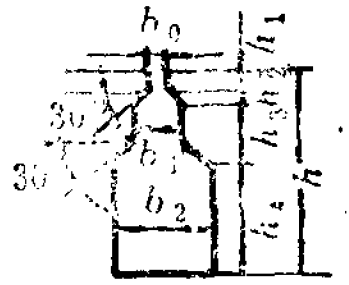


槽形	H	b_0	b_1	h_1	ϕ_1	h_2	ϕ_2
0977	30.3	2	2.5	2.5	10.7	6	11.7
1003	30.4	2	2	2	10.7	5	12.7
1185	38.9	3	4	1.5	12.7	6	16.1



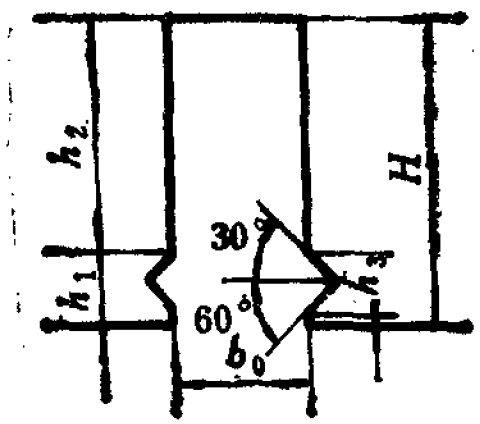
E 型

槽形	h	b_0	b	h_1
E_1	47.5	1.5	6.4	0.6
E_2	43.5	1.5	8	0.6
E_3	45	1.5	6	0.6
E_4	45	1.5	5.6	0.6
E_5	45	1.5	7.6	0.6
E_6	50	1.5	7	0.6
E_7	45	1.5	6.2	0.6
E_8	46	2.0	6.7	0.6
E_9	55	1.5	8.4	1
E_{10}	59	1.5	7	0.6
E_{11}	55.5	1.5	6.4	0.6
E_{12}	47.5	1.5	6	0.6

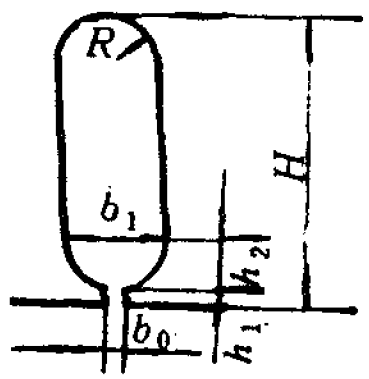


F 型

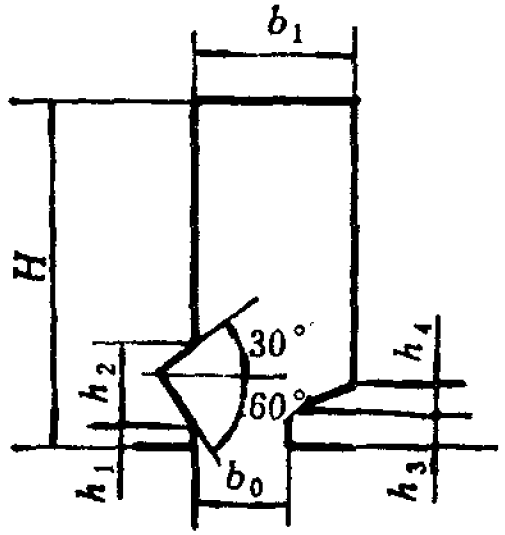
槽形	h	b_0	b	h	h_1	h_2	h_3	h_4
F	35	2	4	6	1	1	13	20
F_2	32	2	4	6	1	1	12	18
F_3	38	2	6	9	0.6	1.4	15	18.5
F_4	39	2	5	6.6	1.5	1.5	15	21
F_5	42	2	6.5	8	2	1	14	25



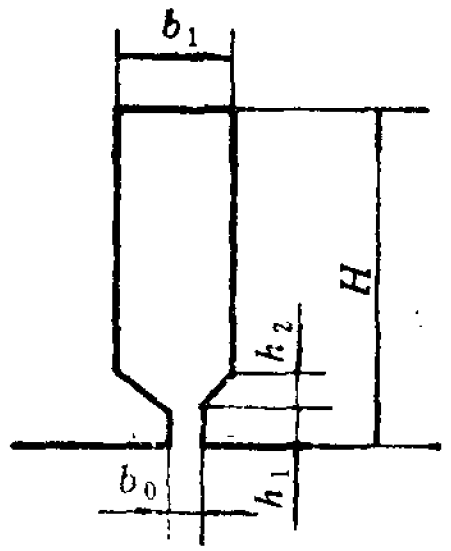
槽　形	H	b_0	h_1	h_2	h_3	槽　形	H	b_0	h_1	h_2	h_3
1010	56.5	12.5	4	52.5	0.5	2187	52	13.5	4.5	47.5	1
2126	66	13.8	4.5	61.5	1.0	2188	58.5	11.7	4.5	54	1
2153	72	12.3	5	67	0.5	2199	48	13.1	4.5	43.5	1
2154	63	14.1	5	58	1	1037	55.5	13.3	4	51.5	0.5
2158	58	13.4	4	54	1.0	1041	65	14.2	4	61	0.5
2175	59	12.3	4.5	54.5	1	1042	70	14.3	4	66	0.5
2179	68.5	14.1	4.5	64	1	2195	76	14.3	4	72	0.5
2184	49.5	13	4.5	45	1	OEH、320、009	62	17	5	57	0.5
2185	55	11.6	4.5	50.5	1	2193	63	16.3	5	58	1
2186	50.5	12.7	4.5	46	1	2194	63	15.5	5.5	57.5	1



槽形	H	b_0	b_1	R	h_1	h_2
1208	38	2	5	2.5	3	2.5
1212	36	2	7	3.5	2	3.5
1215	43	2	7	3.5	2	3.5
1217	46	2	7	3.5	3	3.5
2100	59	3	8	4	3	4
2114	36	3	8	4	3	4
2128	28	2	6	3	2	3
2152	58	3	7	3.5	3	3.5
2180	42	2	8	4	2	4
2183	34	2	6	3	2	3
1214	37	2	11	5.5	2	5.5
2189	42	2	6	3	3	3



槽形	H	b_0	b_1	h_1	h_2	h_3	h_4
C902	46.5	5.4	9.3	1	3	1	2.25
C908	40.5	5.4	9.3	1	3	1	2.25
0917	40.5	6	8.8	1	3	1	
0962	43	6.6	11.9	1	3	1	
1051	46.5	5.9	10.1	1	3	1	2.42
1083	43	5.4	9.3	1	3	1	2.25
2109	40	6.1	10.7	1	3	1	2.66
2182	44.5	6.1	10.7	1	3	1	2.66
1039	44.8	7.2	12.9	0.6		0.6	4.04
2110	53	7.7	14.8	1	3	1	4.04



槽形	H	b_0	b_1	h_1	h_2
0704	45	1.5	6.5	0.6	1.4
0813	43.5	1.5	8.4	0.6	2
0829	45	1.5	6.6	0.6	1.47
0850	48	1.5	8.4	0.6	2
0869	45	1.5	7.1	0.6	1.62
1006	56.4	1.5	8.7	1.0	2.07
1009	56.4	2.0	7.6	1.0	1.62
1013	60.5	1.5	8.7	0.6	2.08
1074	43.5	1.5	7.4	0.6	1.8
1079	55.5	1.5	6.6	0.6	1.47
1089	51	1.5	7.5	0.6	1.72
2118	56.2	1.5	7.7	1.0	1.83
2177	51.4	1.5	8.7	1.0	2.07
2178	41	1.5	5.1	0.6	1.33
0966	48.4	2.0	9.5	1.0	2.16
1179	56.4	2.0	9.1	1.0	2.05
2112	61	2.0	9.1	1.0	2.05

附表11　JS系列三相异步

型　号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	接　法	节　距
114-4	115	220/380	370/214	560	350	0.8	170 + 10	4△/Y	
115-4	135	220/380	430/248	560	350	0.8	190 + 10	4△/Y	1—14
116-4	155	220/380	502/292	560	350	0.8	220 + 20	4△/Y	
117-4	180	380	329	560	350	0.8	260 + 30	4△	
114-4	90	3000	22.6	560	350	0.8	170 + 10	1Y	
115-4	110	3000	27	560	350	0.8	190 + 10	1Y	1—11
116-4	125	3000	30.5	560	350	0.8	220 + 20	1Y	
117-4	150	3000	36	560	350	0.8	260 + 30	1Y	
115-6	75	220/380	249/144	560	400	0.75	170 + 10	3△/Y	1—10
116-6	95	220/380	301/174	560	400	0.75	200 + 10	3△/Y	1—11
117-6	115	220/380	360/208	560	400	0.75	230 + 20	3△/Y	1—11
116-6	75	3000	19	560	400	0.75	280 + 30	1Y	1—8
117-6	95	3000	23.6	560	400	0.75	320 + 30	1Y	1—8
115-8	60	220/380	201/116	560	423	0.75	170 + 10	4△/Y	1—9
116-8	70	220/380	231/133.5	560	423	0.75	220 + 10	4△/Y	1—9
117-8	80	220/380	264/152.5	560	423	0.75	210 + 10	4△/Y	1—9
115-10	45	220/380	162/93.5	560	423	0.75	170 + 10	5△/Y	1—8
116-10	55	220/380	197/113.5	560	423	0.75	220 + 20	5△/Y	1—8
117-10	65	220/380	223/132	560	423	0.75	220 + 20	5△/Y	1—8
126-4	225	380	399	650	423.3	0.95	200 + 20	4△	1—13
127-4	260	380	464	650	423.3	0.95	230 + 30	4△	1—13
128-4	300	380	530	650	423.3	0.95	270 + 30	4△	1—13

电动机技术数据汇总表

Z_1	W_{sc}	定子槽形	定子线规（根-mm）	B_{t1}	B_{t2}	B_{c1}	B_{c2}	B_δ
				(T)				
60	16	A_1	2-1.56×3.05	1.485	1.44	1.283	1.283	0.757
60	14	A_1	2-1.95×3.05	1.50	1.45	1.295	1.295	0.775
60	12	A_1	2-2.1×3.05	1.491	1.46	1.30	1.30	0.766
60	18	A_1	2-1.45×3.05	1.485	1.435	1.28	1.28	0.751
48	40	B_1	1-1.16×3.53	1.52	1.45	1.41	1.25	0.764
48	36	B_1	1-1.35×3.53	1.49	1.422	1.39	1.23	0.747
48	32	B_1	1-1.56×3.53	1.494	1.415	1.38	1.22	0.74
48	28	B_1	1-1.81×3.53	1.478	1.332	1.391	1.17	0.697
72	14	C_1	2-φ1.45 2-φ1.56	1.51	1.41 1.09	1.24	0.709	0.758
72	12	C_1	2-φ1.45 3-φ1.56	1.50	1.36	1.33	0.62	0.73
72	10	C_1	3-φ1.45 3-φ1.56	1.565	1.427	1.405	0.658	0.762
54	36	B_3	1-1.16×3.28	1.272	1.18	1.39	0.57	0.613
54	32	B_3	1-1.45×3.28	1.265	1.104	1.38	0.566	0.609
72	22	C_2	3-φ1.56	1.55	1.37	1.37	0.45	0.767
72	20	C_2	4-φ1.45	1.475	1.305	1.288	0.421	0.73
72	18	C_2	4-φ1.56	1.53	1.36	1.36	0.443	0.758
90	28	C_3	2-φ1.45	1.52	1.44	1.27	0.39	0.786
90	24	C_3	2-φ1.45	1.51	1.375	1.27	0.39	0.78
90	22	C_3	1-φ1.35	1.48	1.35	1.25	0.395	0.767
60	18	A_2	3-φ1.45	1.567	1.628	1.53	1.18	0.827
60	16	A_2	2-1.45×3.8	1.548	1.607	1.51	1.155	0.823
60	14	A_2	2-1.68×3.8	1.53	1.587	1.47	1.205	0.814

型　号	P_1 (Ω)	R_2 (Ω)	P_{Cu1} (W)	P_{Al2} (W)	P_{Fe} (W)	P_z (W)	P_j (W)	η_1 (%)	η_2 (%)
114-4	0.031	0.01865	4340	2260	2040	806	920	91.7	91
115-4	0.0222	0.01327	4030	2110	2190	945	1030	92.88	91.5
116-4	0.0194	0.01196	4630	2500	2610	1085	1240	92.79	92
117-4	0.044	0.03276	4760	2870	2960	1260	1440	93.14	92.5
114-4	2.43	1.078	3750	1315	3610	630	720	90	89.5
115-4	1.83	0.946	4000	1720	3810	770	880	90.8	90
116-4	1.49	0.736	4180	1690	4340	875	1000	91.18	90.5
117-4	1.151	0.806	4500	2510	4970	1050	1200	91.34	91
115-6	0.0546	0.0293	3190	1450	1525	420	750	91.1	90
116-6	0.0384	0.02965	3680	2340	1670	950	760	91	91
117-6	0.0286	0.02353	3710	2770	2025	1150	923	91.7	91
116-6	2.73	1.645	2880	1340	4040	525	525	89	89
117-6	2.56	1.431	4210	1870	3690	665	665	89.5	89.5
115-8	0.0512	0.05055	2060	1640	1400	600	480	90.64	89
116-8	0.0433	0.0479	2340	2100	1331	700	560	90.8	90
117-8	0.0353	0.0400	2490	2300	1760	800	640	90.93	90.5
115-10	0.0839	0.05387	2250	1025	865	450	360	90.18	88
116-10	0.0583	0.04742	2250	1325	1165	550	440	90.54	88.5
117-10	0.0533	0.04274	2760	1660	1406	650	520	90.25	89
126-4	0.0332	0.02402	5310	3480	3310	2250	1800	93.31	93
127-4	0.0267	0.02159	5710	4100	3730	2600	2080	93.46	93
128-4	0.0211	0.01859	5050	4630	4100	3000	2400	93.73	93.5

附表11 〔1-2〕

$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{I_{st1}}{I_N}$	$\frac{I_{st2}}{I_N}$	$\frac{M_{st1}}{M_N}$	$\frac{M_{st2}}{M_N}$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$
0.88	0.88	4.75	6.5	1.16	0.9	1.72	1.6
0.896	0.88	5.21	6.5	1.1	0.9	1.93	1.6
0.898	0.89	5.46	6.5	1.27	0.9	1.84	1.6
0.895	0.89	5.68	6.5	1.32	0.9	1.89	1.6
0.852	0.85	4.78	6.5	0.925	0.9	1.86	1.6
0.865	0.86	5.1	6.5	1.09	0.9	1.88	1.6
0.863	0.86	5.11	6.5	0.965	0.9	1.86	1.6
0.876	0.86		6.5		0.9		1.6
0.89	0.88	4.7	6.0	0.92	0.9	2.14	1.6
0.908	0.88	4.92	6.0	1.18	0.9	2.13	1.6
0.91	0.88	5.13	6.0	1.46	0.9	2.28	1.6
0.865	0.86	6.3	6.0	1.94	0.9	2.76	1.6
0.87	0.86	5.27	6.0	1.45	0.9	2.37	1.6
0.865	0.83	4.79	5.5	1.53	0.9	2.3	1.6
0.87	0.84	4.45	5.5	1.36	0.9	2.08	1.6
0.873	0.84	4.55	5.5	1.39	0.9	2.13	1.6
0.81	0.78	5.07	5.5	1.64	0.9	2.29	1.6
0.813	0.78	5.0	5.5	1.39	0.9	2.15	1.6
0.825	0.79	4.55	5.5	1.95	0.9	2.02	1.6
0.915	0.90	5.96	6.5	1.42	0.9	2.36	1.6
0.913	0.90	5.9	6.5	1.45	0.9	2.26	1.6
0.92	0.91	6.13	6.5	1.57	0.9	2.3	1.6

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	接法	节距
126-4	190	3000	44.5	650	423.3	0.95	220+20	1Y	1—14
127-4	230	3000	53.8	650	423.3	0.95	260+30	1Y	
125-6	130	220/380	417/241	650	475	0.8	170+10	6△/Y	
126-6	155	380	284	650	475	0.8	190+10	6△	1—11
127-6	185	380	340	650	475	0.8	210+10	6△	
128-6	215	380	399	650	475	0.8	240+20	6△	
125-6	110	3000	26.9	650	475	0.8	250+2	1Y	
126-6	135	3000	32.9	650	475	0.8	290+30	1Y	1—11
127-6	165	3000	40	650	475	0.8	320+30	1Y	
128-6	190	3000	45.5	650	475	0.8	350+40	1Y	
125-8	95	220/380	317/183	650	475	0.8	170+10	8△/Y	
126-8	110	220/380	370/213	650	475	0.8	190+20	8△/Y	1—9
127-8	130	220/380	432/249	650	475	0.8	210+10	8△/Y	
128-8	155	220/380	517/298	650	475	0.8	240+20	8△/Y	
125-8	85	3000	22.5	650	475	0.8	220+20	1Y	
126-8	95	3000	25.3	650	475	0.8	250+30	1Y	1—8
127-8	110	3000	28.4	650	475	0.8	250+30	1Y	
128-8	125	3000	32.6	650	475	0.8	360+40	8△/Y	
125-10	80	220/380	278/160	650	493.3	0.8	180+10	5△/Y	
126-10	95	220/380	330/190	650	493.3	0.8	200+10	5△/Y	1—9
127-10	115	220/380	394/226.5	650	493.3	0.8	230+20	5△/Y	
128-10	130	220/380	444/256	650	493.3	0.8	260+20	5△/Y	

附表11 〔2-1〕

Z_1	W_{sc}	定子槽形	定子线规 (根-mm)	B_{t1}	B_{t2}	B_{c1}	B_{c2}	B_δ
				(T)				
60	22	B_4	2-1.95×3.8	1.46	1.36	1.43	0.96	0.722
60	18	B_4	1-1.08×6.4	1.49	1.40	1.48	0.995	0.716
72	22	C_4	1-1.45×6.4	1.56	1.42	1.55	0.993	0.788
72	34	C_4	4-ϕ1.56	1.53	1.46	1.50	1.0	0.773
72	30	C_4	2-ϕ1.68	1.57	1.49	1.53	1.02	0.79
72	28	C_4	2-ϕ1.56 1-ϕ1.45	1.52	1.40	1.515	0.965	0.761
72	28	B_5	3-ϕ1.68	1.385	1.048	1.334	0.685	0.558
72	22	B_5	1-1.81×3.28	1.505	1.14	1.47	0.754	0.604
72	20	B_5	2-1.0×3.28	1.51	1.14	1.472	0.755	0.604
72	18	B_5	1-1.25×6.9	1.512	1.145	1.482	0.764	0.621
72	38	C_4	1-ϕ1.56 1-ϕ1.68	1.56	1.47	1.17	0.745	0.79
72	34	C_4	2-ϕ1.68	1.56	1.47	1.15	0.74	0.79
72	30	C_4	3-ϕ1.56	1.565	1.47	1.12	0.763	0.78
72	26	C_4	3-ϕ1.68	1.58	1.50	1.155	0.774	0.79
72	36	B_5	1-1.25×3.53	1.557	1.176	1.152	0.803	0.626
72	32	B_5	1-1.56×3.53	1.572	1.187	1.12	0.602	0.632
72	32	B_5	1-1.56×3.53	1.572	1.187	1.12	0.602	0.632
72	24	B_5	1-2×3.53	1.50	1.132	1.096	0.562	0.599
90	20	C_5	3-ϕ1.56	1.491	1.541	1.287	0.916	0.824
90	18	C_5	4-ϕ1.45	1.50	1.54	1.29	0.92	0.829
90	16	C_5	2-ϕ1.56 2-ϕ1 68	1.481	1.528	1.271	0.902	0.813
90	14	C_5	4-ϕ1.68	1.49	1.54	1.277	0.93	0.819

型　号	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	P_{Cu1} (W)	P_{Al2} (W)	P_{Fe} (W)	P_z (W)	P_1 (W)	η_1 (%)	η_2 (%)
126-4	1.17	0.664	6950	3360	4360	1330	1520	91.57	91.5
127-4	0.75	0.520	6950	3800	6350	1610	1840	92	92
125-6	0.0216	0.01836	3750	2720	2630	1560	910	91.85	91.5
126-6	0.062	0.0441	5000	3120	2480	1550	1240	92.05	91.5
127-6	0.047	0.0405	5260	4040	2670	1850	1850	92.2	92
128-6	0.037	0.03961	5900	5530	3120	2150	1720	92.2	92
125-6	2.00	1.444	4300	2600	3300	880	770	90	90
126-6	1.484	1.015	4780	2645	4910	675	1080	90.57	90.5
127-6	1.11	0.896	5300	3500	5500	825	1320	91	91
128-6	0.985	0.791	6070	4060	6050	950	1520	91.05	91
125-8	0.0345	0.02544	3420	2030	1780	950	665	91.5	91
126-8	0.0269	0.0231	3550	2550	1965	1100	770	91.75	91
127-8	0.0208	0.01922	3860	2930	1820	1300	1040	92.2	92
128-8	0.0172	0.01603	4560	3490	2190	1550	1240	92.25	92
125-8	2.80	1.901	4250	2070	2480	850	850	89.03	89
126-8	2.10	1.638	4020	2260	3600	950	950	89	89
127-8	2.10	1.638	5120	2960	3140	770	880	89.52	89.5
128-8	1.442	1.25	4580	2820	4200	1000	1120	90	90
125-10	0.0405	0.02331	3100	1325	1670	800	800	91.23	90.5
126-10	0.0329	0.02056	3540	1660	1870	950	950	91.38	90.5
127-10	0.0254	0.019	3870	2260	2120	1150	1150	91.62	91
128-10	0.022	0.01621	4330	2450	2650	1300	1300	91.55	91

附表11 〔2-2〕

$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{I_{st1}}{I_N}$	$\frac{I_{st2}}{I_N}$	$\frac{M_{st1}}{M_N}$	$\frac{M_{st2}}{M_N}$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$
0.90	0.87	4.95	6.5	1.18	0.9	2.09	1.6
0.883	0.87	5.13	6.5	1.36	0.9	2.14	1.6
0.892	0.89	5.32	6.0	1.54	0.9	2.02	1.6
0.903	0.89	5.58	6.0	1.44	0.9	1.82	1.6
0.91	0.89	5.6	6.0	1.6	0.9	1.9	1.6
0.89	0.89	5.0	6.0	1.48	0.9	1.69	1.6
0.873	0.86	5.06	6.0	1.57	0.9	1.81	1.6
0.875	0.86	5.9	6.0	1.94	0.9	2.21	1.6
0.875	0.85	5.55	6.0	1.8	0.9	2.04	1.6
0.875	0.86	6.0	6.0	2.0	0.9	2.18	1.6
0.862	0.85	4.3	5.5	1.3	0.9	1.7	1.6
0.861	0.85	4.84	5.5	1.50	0.8	1.78	1.6
0.86	0.85	4.72	5.5	1.38	0.8	1.64	1.6
0.86	0.85	4.72	5.5	1.42	0.8	1.64	1.6
0.82	0.82	4.54	5.5	1.57	0.8	1.79	1.6
0.82	0.82	4.67	5.5	1.7	0.8	1.86	1.6
0.83	0.83	4.2	5.5	1.39	0.8	1.64	1.6
0.83	0.83	5.0	5.5	1.58	0.8	1.89	1.6
0.83	0.82	4.98	5.5	1.55	0.9	2.21	1.6
0.831	0.82	4.85	5.5	1.55	0.9	2.12	1.6
0.838	0.82	4.63	5.5	1.54	0.9	1.96	1.6
0.839	0.82	4.78	5.5	1.61	0.9	2.03	1.6

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	接法	节距
136-4	300	3000	69.6	740	475.3	1.05	250+20	1Y	
137-4	350	3000	79.5	740	475.3	1.05	290+40	1Y	1—13
138-4	410	3000	93.5	740	475.3	1.05	290+40	1Y	
136-4	220	6000	25.5	740	475.3	1.05	250+20	1Y	
137-4	260	6000	30.4	740	475.3	1.05	270+30	1Y	1—13
138-4	300	6000	34.6	740	475.3	1.05	290+40	1Y	
136-6	240	380	434	740	540	0.95	210+10	3△	1—11
137-6	280	380	500	740	540	0.95	230+10	3△	
136-6	220	3000	52.7	740	540	0.95	260+30	1Y	
137-6	250	3000	59.2	740	540	0.95	300+40	1Y	1—11
138-6	280	3000	65.6	740	540	0.95	340+40	1Y	
136-8	180	380	340	740	540	0.90	210+10	4△	
137-8	210	380	394	740	540	0.95	250+20	4△	1—8
138-8	245	380	457	740	540	0.95	280+30	4△	
136-8	145	3000	36.6	740	540	0.95	250+30	1Y	
137-8	170	3000	43	740	540	0.95	290+40	1Y	1—8
138-8	200	3000	49.5	740	540	0.95	340+40	1Y	
137-10	155	380	291	740	560	0.8	250+20	5△	1—8
138-10	180	380	344	740	560	0.8	270+20	5△	
136-10	125	3000	32	740	560	0.8	230+20	1Y	
137-10	145	3000	36.8	740	560	0.8	250+20	1Y	1—9
138-10	165	3000		740	560	0.8	300+30	1Y	

附表11 〔3-1〕

Z_1	W_{sc}	定子槽形	定子线规（根-mm）	B_{t1}	B_{t2}	B_{c1}	B_{c2}	B_δ
				（T）				
60	16	B_8	1-1.68×8	1.595	1.411	1.592	1.105	0.73
60	14	B_8	1-2.1×8	1.593	1.382	1.37	1.087	0.755
60	14	B_8	1-2.1×8	1.57	1.394	1.57	1.087	0.761
60	36	B_7	1-1.45×3.53	1.475	1.278	1.28	0.98	0.706
60	36	B_7	1-1.56×3.53	1.38	1.204	1.18	0.908	0.656
60	32	B_7	1-1.81×3.53	1.44	1.25	1.246	0.951	0.681
72	14	A_4	7-ϕ1.68	1.54	1.474	1.42	1.192	0.753
72	12	A_4	8-ϕ1.68	1.614	1.548	1.53	1.283	0.795
72	20	B_8	2-1.35×4.1	1.50	1.254	1.525	1.087	0.624
72	18	B_8	2-1.56×4.1	1.48	1.238	1.495	1.0	0.626
72	16	B_8	2-1.81×4.1	1.471	1.225	1.57	0.98	0.62
72	24	A_4	3-ϕ1.68 1-ϕ1.45	1.585	1.521	1.11	0.937	0.781
72	20	A_4	5-ϕ1.68	1.586	1.522	1.132	0.955	0.776
72	18	A_4	2-ϕ1.68 1-ϕ1.56	1.59	1.52	1.12	0.91	0.774
72	26	B_9	2-1.16×3.28	1.065	1.352	1.43	0.817	0.674
72	22	B_9	2-1.45×3.28	1.395	1.391	1.455	0.837	0.69
72	20	B_9	2-1.86×3.28	1.315	1.31	1.375	0.785	0.654
90	26	A_5	2-2.0×3.28	1.426	1.636	1.12	0.698	0.719
90	24	A_5	2-1.16×3.28	1.435	1.645	1.126	0.71	0.723
90	26	B_{10}	1-1.0 ×5.9	1.572	1.51	1.31	0.63	0.674
90	24	B_{10}	1-1.16×5.9	1.575	1.52	1.30	0.643	0.667
90	20	B_{10}	1-1.35×5.9	1.585	1.54	1.32	0.65	0.677

型　号	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	P_{Cu1} (W)	P_{Al2} (W)	P_{Fe} (W)	P_z (W)	P_j (W)	η_1 (%)	η_2 (%)
136-4	0.480	0.3225	6960	3980	6600	3000	2400	92.9	92
137-4	0.354	0.2837	6690	4240	9900	3500	2800	92.79	92.5
138-4	0.3465	0.284	9060	6500	7580	4100	3280	93.08	93
136-4	2.99	1.632	5820	2940	4820	2200	1760	92.63	91
137-4	2.87	1.752	7800	4260	4610	2600	2080	92.34	91
138-4	2.25	1.482	8040	4710	5430	3000	2400	92.7	91.5
136-6	0.035	0.02517	6480	4130	3570	2400	1920	92.78	92.5
137-6	0.0272	0.0189	6810	4090	3880	2800	2240	93.28	93
136-6	0.791	0.560	6600	3660	7130	1760	1760	91.33	91
137-6	0.651	0.484	6800	4230	7950	2000	2000	91.68	91.5
138-6	0.566	0.440	7320	4760	5720	2800	2240	92.4	92
136-8	0.0446	0.03342	5120	3150	2680	1800	900	92.95	92
137-8	0.0309	0.02745	4800	3480	3160	2100	1050	93.5	92
138-8	0.0332	0.02775	6920	4820	3150	2450	1225	92.95	92
136-8	1.316	0.768	5200	2320	5240	1160	1160	90.54	90.5
137-8	0.945	0.630	5210	2600	7180	1360	1360	90.57	90.5
138-8	0.786	0.5875	5730	3360	6620	1600	1600	91.37	91
137-10	0.0662	0.03715	5580	2570	2470	1550	1240	92.04	92
138-10	0.0537	0.03366	6040	3110	2430	1800	1440	92.41	92.5
136-10	1.995	0.958	6060	2190	3330	1250	1250	89.9	89.5
137-10	1.63	0.880	6530	3510	2890	1160	1160	90.4	90
138-10	1.258	0.7392	6600	2770	4400	1650	1320	90.8	90.5

附表11 〔3-2〕

$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{I_{st1}}{I_N}$	$\frac{I_{st2}}{I_N}$	$\frac{M_{st1}}{M_N}$	$\frac{M_{st2}}{M_N}$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$
0.894	0.83	6.25	6.5	1.48	0.9	2.51	1.6
0.915	0.88	6.23	6.5	1.48	0.9	2.5	1.6
0.905	0.89	5.52	6.5	1.38	0.9	1.14	1.6
0.895	0.88	6.19	6.5	1.37	0.9	2.56	1.6
0.895	0.89	5.0	6.5	1.16	0.9	2.01	1.6
0.90	0.89	5.0	6.5	1.11	0.9	2.13	1.6
0.913	0.90	5.36	6.0	1.32	0.9	2.22	1.6
0.91	0.90	5.92	6.0	1.44	0.9	2.38	1.6
0.88	0.88	4.92	6.0	1.17	0.9	2.15	1.6
0.89	0.89	5.29	6.0	1.45	0.9	2.3	1.6
0.891	0.89	5.34	6.0	1.45	0.9	2.23	1.6
0.868	0.85	5.1	5.5	1.41	0.9	2.08	1.6
0.87	0.86	5.6	5.5	1.7	0.9	2.28	1.6
0.877	0.87	5.25	5.5	1.76	0.9	2.16	1.6
0.842	0.83	5.98	5.5	1.41	0.9	2.2	1.6
0.842	0.84	5.26	5.5	1.52	0.9	2.33	1.6
0.855	0.85	4.95	5.5	1.37	0.9	2.17	1.6
0.88	0.86	5.31	5.5	1.18	0.9	2.18	1.6
0.885	0.86	4.9	5.5	1.11	0.9	2.1	1.6
0.84	0.81	4.95	5.5	1.11	0.9	2.2	1.6
0.835	0.82	4.86	5.5	1.08	0.9	2.1	1.6
0.838	0.82	5.28	5.5	1.31	0.9	2.28	1.6

附表12 JSQ系列三相异步电动机技术数据汇总表

型号	P_N (kW)	U_N (kV)	I_N (A)	P_{Cu1} (W)	P_{Cu2} (W)	P_{Fe} (W)	P_z (W)	P_j (W)	I_0 (A)	P_0 (W)	R_1 (Ω)	B_{c1} (T)	B_{c2} (T)	B_{t1} (T)	B_{t2} (T)	B_δ (T)
146-4	430	3	100	8780	6020	8680	3210	3500	22.8	12630	0.292	1.37	1.46	1.51	1.43	0.77
147-4	500	3	116	9090	6520	9900	2700	4200	26	14560	0.226	1.37	1.46	1.51	1.43	0.77
148-4	570	3	130	9030	6550	11650	3050	4300	30.3	16440	0.532	1.35	1.44	1.50	1.42	0.76
1410-4	680	3	154	10180	7730	13250	3600	5700	33.7	20590	0.1427	1.32	1.42	1.48	1.40	0.75
147-4	360	6	42	9300	3700	9760	1960	4200	11.4	14650	1.765	1.30	1.39	1.46	1.38	0.74
148-4	440	6	51	9220	4500	10400	2360	5100	13.1	16240	1.18	1.31	1.40	1.46	1.39	0.74
1410-4	500	6	57	10250	5200	10700	2700	5700	13	17400	1.053	1.19	1.27	1.35	1.28	0.68
147-6	380	3	89	7600	5430	8600	2040	3000	25.3	12210	0.318	1.42	1.33	1.57	1.47	0.75
148-6	430	3	101	7450	5600	11000	2300	3500	30.2	15170	0.247	1.43	1.35	1.57	1.49	0.76
1410-6	520	3	121	8880	6600	11900	2780	4500	35.2	17200	0.204	1.39	1.32	1.56	1.46	0.74
148-6	310	6	36.5	9200	4050	8400	1680	3500	10.5	12660	2.31	1.24	1.17	1.40	1.33	0.68
1410-6	380	6	44	9880	5250	9150	2050	4500	11.2	14300	1.715	1.15	1.09	1.32	1.25	0.64
147-8	260	3	65	6570	3830	5900	1400	1600	24.0	8430	0.521	1.04	0.99	1.54	1.46	0.75
148-8	310	3	77	7680	4800	6580	1670	1800	26.8	9320	0.435	1.04	0.98	1.55	1.45	0.74
1410-8	370	3	90.5	7900	5780	7800	2000	2800	30.4	11500	0.321	1.0	0.95	1.51	1.41	0.72
147-8	200	6	26	7275	2475	5500	1000	1600	9.9	8170	3.62	1.01	1.17	1.48	1.36	0.68
148-8	240	6	31	8250	3080	6930	1320	1800	11.5	9880	2.9	1.02	1.17	1.50	1.34	0.69
1410-8	280	6	36	7950	3300	8550	1520	2800	15	12850	2.07	0.10	0.94	1.49	1.42	0.72
147-10	200	3	50.5	6210	2780	6150	1100	1400	19.6	8800	0.815	1.23	0.75	1.52	1.40	0.68
148-10	230	3	58	6450	3300	6400	1260	2000	21.2	9270	0.645	1.25	0.74	1.49	1.39	0.67

附表12 〔1-2〕

型号	D_1	D_{i1}	D_{i2}	δ	L	Z_1	Z_2	定子槽形	定子线规（根—长×宽）(mm)	节距	接法	η_1	η_2	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{I_{st}}{I_N}$	$\frac{M_{st}}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$
	(mm)											(%)						
146-4	850	540	167	1.3	240+50	60	50	2154	2-2.63×4.1	1—14	1Y	93.6	93.0	0.883	0.88	5.1	1.03	1.97
147-4	850	540	167	1.3	280+60	60	50	2154	2-3.05×4.1	1—14	1Y	93.7	93.0	0.895	0.88	5.5	1.19	2.06
148-4	850	540	167	1.3	340+70	60	50	2154	2-1.95×4.1	1—13	1△	94.3	93.0	0.893	0.88	6.2	1.37	2.25
1410-4	850	540	167	1.3	400+9	60	50	2154	2-1.95×4.1	1—13	2Y	94.4	93.5	0.90	0.88	6.35	1.46	2.21
147-4	850	540	167	1.3	280+60	60	50	2154	2-1.08×3.28	1—13	1Y	92.8	91.5	0.894	0.87	5.3	1.24	2.43
148-4	850	540	167	1.3	320+70	60	50	2154	2-1.45×3.28	1—14	1Y	93.3	92.5	0.893	0.88	6.37	1.3	2.4
1410-4	850	540	167	1.3	400+90	60	50	2154	2-1.56×3.28	1—13	1Y	93.5	92.5	0.902	0.88	6.43	1.38	2.3
147-6	850	590	368	1.3	280+60	72	86	2126	1-2.63×8.0		1Y	93.4	92.0	0.878	0.86	5.63	1.2	2.34
148-6	850	590	368	1.3	320+70	72	86	2126	1-3.05×8.0	1—11	1Y	93.5	92.5	0.88	0.87	6.13	1.34	2.54
1410-6	850	590	368	1.3	400+90	72	86	2126	2-1.81×3.8		2Y	93.7	93.0	0.887	0.87	6.4	1.46	2.56
148-6	850	590	368	1.3	320+70	72	86	2126	2-1.08×3.05	1—11	1Y	92.2	91.5	0.888	0.86	6.0	1.25	2.45
1410-6	850	590	368	1.3	400+90	72	86	2126	2-1.35×3.05		1Y	92.5	92.0	0.90	0.87	5.68	1.22	2.3
147-8	850	590	368	1.3	280+60	72	86	2126	1-1.81×8.0	1—9	1Y	93.0	91.5	0.83	0.81	5.12	1.24	2.06
148-8	850	590	368	1.3	320+70	72	86	2126	1-2.1 ×8.0	1—9	1Y	93.2	92.0	0.835	0.82	4.93	1.22	2.1
1410-8	850	590	368	1.3	400+90	72	86	2126	1-2.63×8.0	1—8	1Y	93.3	92.5	0.845	0.83	5.03	1.26	2.12
147-8	850	590	368	1.0	280+60	84	76	2153	1-1.0 ×5.1	1—10	1Y	91.9	90.0	0.81	0.80	4.9	1.3	2.00
148-8	850	590	368	1.0	320+70	84	76	2153	1-1.16×5.1	1—10	1Y	91.8	90.5	0.816	0.80	4.7	1.26	2.0
1410-8	850	590	368	1.3	400+90	72	86	2126	1-1.08×3.28	1—8	1Y	92.1	91.0	0.82	0.80	5.48	1.26	2.4
147-10	850	650	423	0.9	280+60	90	106	1010	1-1.68×6.9	1—9	1Y	91.9	90.5	0.83	0.81	5.4	1.34	2.29
148-10	850	650	423	0.9	320+70	90	80	1010	1-1.95×6.9	1—9	1Y	92.2	90.5	0.831	0.82	5.14	1.26	2.25

附表12 〔2-1〕

型号	P_N (kW)	U_N (kV)	I_N (A)	P_{Cu1} (W)	P_{Cu2} (W)	P_{Fe} (W)	P_z (W)	P_j (W)	I_0 (A)	P_0 (W)	R_1 (Ω)	B_{c1} (T)	B_{c2} (T)	B_{t1} (T)	B_{t2} (T)	B_δ (T)
1410-10	280	3	71	7940	4400	7500	1550	2000	24.4	10450	0.53	1.22	0.78	1.46	1.39	0.65
1410-10	200	6	27	7250	2130	7830	1100	2000	12.9	11480	3.35	1.25	0.80	1.50	1.42	0.67
147-12	140	3	38.5	5600	2020	4350	780	900	17	6350	1.27	1.04	0.59	1.48	1.38	0.67
148-12	165	3	44.5	6070	2330	4950	900	1000	20.5	8200	1.02	1.01	0.59	1.49	1.39	0.67
1410-12	210	3	57.5	6720	3230	6080	1150	1300	25.4	8390	0.678	1.0	0.67	1.47	1.41	0.66
158-4	680	6	79	10400	5950	15750	3660	8500	21.5	24950	0.55	1.44	1.50	1.58	1.87	0.76
1510-4	850	6	97	13200	8250	16050	4500	11000	24	27900	0.468	1.27	1.37	1.45	1.73	0.20
1512-4	1050	6	120	16350	10900	17250	5600	11000	25.4	29000	0.38	1.20	1.30	1.38	1.65	0.67
158-6	680	3	159	11600	9450	12000	3500	4500	45	17500	0.153	1.33	1.04	1.59	2.16	0.74
157-6	460	6	54.5	9400	5800	10000	2470	4500	16.9	15500	1.08					
158-6	550	6	64	10850	7500	10200	2950	4500	16.7	15500	0.89	1.20	0.91	1.51	2.02	0.70
157-8	320	6	40	9060	4880	8170	1730	2300	14.5	11660	1.86					
158-8	380	6	47.5	9500	5640	7700	2040	2500	17	11500	1.41					
1510-8	475	6	57.5	11300	7700	8500	2500	3300	17.6	13300	1.13					
1512-8	570	6	69	12800	8820	10280	3060	3500	20.7	14910	0.89					
157-10	260	6	34	9300	4850	7500	1430	2000	12.9	11730	2.7					
158-10	310	6	40	10200	5950	8400	1700	1800	14.8	11600	2.13					
1510-10	400	6														
1512-10	480	6	61	10950	7750	13290	2600	2550	24.2	17560	0.973					
1510-12	280	6	38	9500	5140	8180	1540	2400	17.2	12510	2.18					
1512-12	330	6	44.5	10430	6100	9420	1800	2800	19.2	14200	1.77					

型号	D_1	D_{i1}	D_{i2}	δ	L (mm)	Z_1	Z_2	定子槽形	定子线规（根—长×宽）(mm)	节距	接法	η_1 (%)	η_2 (%)	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{I_{st}}{I_N}$	$\frac{M_{st}}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$
1410-10	850	650	423	0.9	400+90	90	106	1010	1-2.26×6.9	1—8	1Y	92.3	91.0	0.826	0.82	5.0	2.16	1.96
1410-10	850	650	423	0.9	400+90	90	106	2175	1-1.0×5.1	1—9	1Y	90.8	89.0	0.788	0.79	5.4	1.98	2.74
147-12	850	650	423	0.9	280+60	90	106	1010	1-1.25×5.9	1—8	1Y	91.1	89.0	0.772	0.78	4.55	1.17	2.18
148-12	850	650	423	0.9	320+70	90	106	1010	1-1.45×6.9	1—7	1Y	91.6	89.5	0.78	0.78	4.97	1.36	2.28
1410-12	850	650	423	0.9	400+90	90	106	1010	1-1.95×6.9	1—7	1Y	91.9	90.0	0.766	0.77	4.01	1.63	2.0
158-4	990	650	195	2.0	390	60	47	320	2-1.81×4.7		1Y	93.8	93.5	0.88	0.88	5.95	1.11	2.69
1510-4	990	650	190	2.0	490	60	47	009	2-2.1 ×4.7	1—13	1Y	94.1	93.5	0.893	0.89	5.8	1.23	2.27
1512-4	990	650	190	2.0	590	60	47		2-2.44×4.7		1Y	94.5	94	0.893	0.89	5.3	1.2	2.07
157-6	990	700	423	1.2	390	72	96	2193	2-1.68×5.1	1—11	2Y	94.3	93	0.875	0.87	5.4	1.23	2.18
157-6	990	700	423	1.2	340	72	96	2193	2-1.25×4.7	1—11	1Y	93.4	92.5	0.80	0.87	5.6	1.18	2.4
158-6	990	700	423	1.2	390	72	96	2193	2-1.45×4.7		1Y	93.8	93	0.885	0.87	5.5	1.25	2.18
157-8	990	700	423	1.2	340	72	96	2193	1-1.95×4.1	1—9	1Y	92.3	91	0.82	0.83	5.15	1.45	2.02
158-8	990	700	423	1.2	390	72	96	2193	1-2.44×4.1		1Y	93.1	91.5	0.83	0.84	4.75	1.29	2.05
1510-8	990	700	423	1.2	490	72	96	2193	2-1.25×4.7		1Y	93.4	92	0.847	0.84	4.5	1.20	1.92
1512-8	990	700	423	1.2	590	72	96	2193	2-1.45×4.7		1Y	93.7	92.5	0.840	0.85	4.65	1.28	1.97
157-10	990	770	650	1.1	340	90	114	2194	2-1.95×3.53	1—9	1Y	91.2	90	0.81	0.80	4.25	1.17	1.96
158-10	990	770	650	1.1	390	90	114	2194	2-1.0 ×4.1		1Y	91.7	90.5	0.814	0.81	4.2	1.16	1.96
1510-10	990	770	650	1.1	490	90	114	2194	2-1.25×4.1		1Y	91.7	91	0.833	0.82	5.22	1.08	2.05
1512-10	990	770	650	1.1	590	90	114	2194	2-1.68×4.1		1Y	92.8	91.5	0.813	0.82	5.0	1.54	2.21
1512-12					490	90	114	2194	2-1.0 ×4.1	1—7	1Y	91.3	90.5	0.775	0.78	4.15	1.33	2.1
1512-12					590	90	114	2194	2-1.16×4.1		1Y	91.5	90.5	0.781	0.78	4.1	1.33	2.1

附表13　JR系列三相异步电动机技术数据汇总表

附表13 〔1-1〕

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	接法	节距	Z_1	W_{1c}	定子槽形	定子线规 (根-mm)	D_{i2} (mm)	Z_2	B_δ (T)
114-4	115	220/380	372/215	560	350	0.8	170+10	4△/Y		60	16	A_1	2-1.56×3.05	110	54	0.727
115-4	135	220/380	431/249	560	350	0.8	190+10	4△/Y	1—14	60	14	A_1	2-1.95×3.05	110	54	0.746
116-4	155	220/380	502/292	560	350	0.8	220+20	4△/Y		60	12	A_1	2-2.1 ×3.05	110	54	0.736
117-4	180	380	330	560	350	0.8	260+30	4△		60	18	A_1	2-1.45×3.05	110	54	0.725
114-4	90	3000	22.9	560	350	0.8	170+10	1 Y		48	40	B_1	1-1.16×3.53	110	54	0.728
115-4	110	3000	27	560	350	0.8	190+10	1 Y	1—11	48	36	B_1	1-1.35×3.53	110	54	0.718
116-4	125	3000	30.4	560	350	0.8	220+20	1 Y		48	32	B_1	1-1.56×3.53	110	54	0.715
117-4	150	3000	35.8	560	350	0.8	260+30	1 Y		48	28	B_1	1-1.81×3.53	110	54	0.685
115-6	75	220/380	249/144	560	400	0.75	170+10	3△/Y	1—10	72	14	C_1	2-ϕ1.45,2-ϕ1.56	110	54	0.733
116-6	95	220/380	310/179	560	400	0.75	200+10	3△/Y	1—11	72	12	C_1	2-ϕ1.45,3-ϕ1.56	110	54	0.717
117-6	115	220/380	367/212	560	400	0.75	230+20	3△/Y	1—11	72	10	C_1	3-ϕ1.45,3-ϕ1.56	110	54	0.730
116-6	75	3000	18.8	560	400	0.75	280+30	1 Y	1—8	54	36	B_3	1-1.16×3.28	115	72	0.616
117-6	95	3000	23.6	560	400	0.75	320+30	1 Y		54	32	B_3	1-1.45×3.28	110	72	0.626
115-8	60	220/380	207/120	560	423	0.75	170+10	4△/Y	1—9	72	22	C_2	3-ϕ1.56	110	84	0.730
116-8	70	220/380	234/135	560	423	0.75	200+10	4△/Y	1—9	72	20	C_2	4-ϕ1.45	110	84	0.702
117-8	80	220/380	270/156	560	423	0.75	210+10	4△/Y	1—9	72	18	C_2	4-ϕ1.56	110	84	0.728
115-10	45	220/380	164/95	560	423	0.75	170+10	5△/Y	1—8	90	28	C_3	2-ϕ1.45	110	75	0.753
116-10	55	220/380	204/119	560	423	0.75	200+20	5△/Y	1—8	90	24	C_3	2-ϕ1.45,1-ϕ1.35	110	75	0.748
117-10	65	220/380	232/134	560	423	0.75	220+20	5△/Y	1—8	90	22	C_3	3-ϕ1.45	110	75	0.742
126-4	225	380	405	650	423.3	0.95	200+20	4 △	1—13	60	18	A_2	2-1.45×3.8	130	54	0.815
127-4	260	380	464	650	423.3	0.95	230+30	4 △	1—13	60	16	A_2	2-1.68×3.8	130	54	0.809
128-4	300	380	530	650	423.3	0.95	270+30	4 △	1—13	60	14	A_2	2-1.95×3.8	130	54	0.80

附表13 〔1-2〕

型号	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	P_{Cu1} (W)	P_{Cu2} (W)	P_{Fe} (W)	P_z (W)	P_j (W)	η_1 (%)	η_2 (%)	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$
114-4	0.031	0.0355	4160	4170	1680	575	920	91	91	0.904	0.89	1.9	1.8
115-4	0.0222	0.0282	4160	4380	2200	675	1080	91.54	91.5	0.89	0.88	1.91	1.8
116-4	0.0194	0.0225	4680	4680	2170	775	1240	92	92	0.90	0.88	2.04	1.8
117-4	0.044	0.054	4780	5100	2900	900	1440	92.27	92	0.90	0.89	2.04	1.8
114-4	2.43	2.25	3790	2740	3140	450	720	89.25	89.5	0.85	0.86	2.26	1.8
115-4	1.83	1.90	4000	3370	3250	550	880	90.1	90	0.87	0.86	2.0	1.8
116-4	1.49	1.45	4140	3280	3780	625	1000	90.7	90.5	0.87	0.87	2.0	1.8
117-4	1.157	1.32	4440	4240	4810	750	1200	90.65	91	0.89	0.87	2.1	1.8
115-6	0.0547	0.0442	3340	2260	1500	412	750	90	90	0.889	0.86	2.0	1.8
116-6	0.0384	0.0379	3690	3040	1643	475	760	90.83	90.5	0.885	0.86	1.92	1.8
117-6	0.0286	0.0277	3890	3170	2270	575	920	91.4	91	0.893	0.88	1.96	1.8
116-6	2.73	2.06	2880	2140	3200	525	525	89.04	89	0.86	0.84	2.66	1.8
117-6	2.56	1.72	4260	2280	3800	665	665	89.09	89	0.87	0.85	1.92	1.8
115-8	0.0512	0.0736	2120	2380	1200	300	480	90.26	88.5	0.851	0.82	2.29	1.8
116-8	0.0433	0.0646	2350	2840	1400	350	560	90.43	89	0.874	0.83	2.09	1.8
117-8	0.0345	0.054	2430	2990	1600	400	640	90.84	89.5	0.87	0.84	2.00	1.8
115-10	0.0839	0.00897	2390	1680	985	275	360	88.85	88	0.81	0.77	2.37	1.8
116-10	0.083	0.00723	2450	2000	1286	275	440	89.5	88	0.802	0.78	2.27	1.8
117-10	0.0533	0.0646	2280	2530	1378	325		89.4	88.5	0.823	0.78	2.04	1.8
126-4	0.0322	0.04135	5380	5900	3220	1150	1800	92.81	92.5	0.91	0.90	2.31	1.8
127-4	0.0267	0.035	5650	6500	3700	1300	2080	93.12	93	0.918	0.90	2.13	1.8
128-4	0.0211	0.0281	5900	7030	4260	1500	2100	93.52	93.5	0.921	0.90	2.17	1.8

附表13 〔2-1〕

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	接法	节距	Z_1	W_{sc}	定子槽形	定子线规 (根-mm)	D_{i2} (mm)	Z_2	B_δ (T)
126-4	190	3000	44.8	650	423.3	0.95	220+20	1 Y	1—14	60	22	B_4	1-1.08×6.4	130	54	0.722
127-4	230	3000	54	650	423.3	0.95	260+30	1 Y		60	18	B_4	1-1.45×6.4	130	54	0.716
125-6	130	220/380	420/242	650	475	0.8	170+10	6△/Y		72	22	C_4	4-ϕ1.56	245	63	0.783
126-6	155	380	284	650	475	0.8	190+10	6△	1—11	72	34	C_4	2-ϕ1.68	245	63	0.769
127-6	185	380	338	650	475	0.8	210+10	6△		72	30	C_4	2-ϕ1.56 1-ϕ1.45	245	63	0.785
128-6	215	380	397	650	475	0.8	240+20	6△		72	26	C_4	3-ϕ1.68	245	63	0.783
125-6	110	3000	26.7	650	475	0.8	250+20	1 Y		72	28	B_5	1-1.81×3.28	245	63	0.558
126-6	135	3000	33	650	475	0.8	290+30	1 Y	1—11	72	22	B_5	2-1.0 ×3.28	245	63	0.604
127-6	165	3000	40.2	650	475	0.8	320+30	1 Y		72	20	B_5	1-1.16×6.9	245	63	0.611
128-6	190	3000	45.3	650	475	0.8	350+40	1 Y		72	18	B_5	1-1.25×6.9	245	63	0.624
125-8	95	220/380	314/182	650	475	0.8	170+10	3△/Y	1—9	72	38	C_4	1-ϕ1.56 1-ϕ1.68	245	84	0.761
126-8	110	220/380	365/211	650	475	0.8	190+10	8△/Y		72	34	C_4	2-ϕ1.68	245	84	0.76
127-8	130	220/380	433/250	650	475	0.8	210+20	8△/Y		72	30	C_4	3-ϕ1.56 3-ϕ1.68	245	84	0.757
128-8	155	220/380	510/294	650	475	0.8	240+20	8△/Y		72	26	C_4		245	84	.765
125-8	85	3000	22.4	650	475	0.8	220+10	1 Y	1—8	72	36	B_5	1-1.25×3.53	245	84	0.623
126-8	95	3000	24.9	650	475	0.8	250+30	1 Y		72	32	B_5	1-1.56×3.53	245	84	0.63
127-8	110	3000	28.3	650	475	0.8	250+30	1 Y		72	32	B_5	1-1.56×3.53	245	84	0.629
128-8	125	3000	31.8	650	475	0.8	360+40	1 Y		72	24	B_5	1-2.1 ×3.53	245	84	0.597
125-10	80	220/380	286/165	650	493.3	0.8	180+10	5△/Y	1—9	90	20	C_5	3-ϕ1.56	310	75	0.81
126-10	95	220/380	335/193	650	493.3	0.8	200+10	5△/Y		90	18	C_5	4-ϕ1.45	310	75	0.81
127-10	115	220/380	400/231	650	495.3	0.8	230+20	5△/Y		90	16	C_5	2-ϕ1.56 5-ϕ1.68	310	75	0.795
128-10	130	220/380	454/262	650	495.3	0.8	260+20	5△/Y		90	14	C_5	4-ϕ1.68	310	75	0.802

附表13 〔2-2〕

型号	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	P_{Cu1} (W)	P_{Cu2} (W)	P_{Fe} (W)	P_z (W)	P_j (W)	η_1 (%)	η_2 (%)	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$
126-4	1.17	1.12	7040	5760	3820	950	1330	91	91	0.897	0.89	2.08	1.8
127-4	0.75	0.795	6520	5840	4750	1150	1833	92	92	0.89	0.88	2.11	1.8
125-6	0.0216	0.0258	3810	3820	2600	650	1300	91.4	91	0.888	0.87	1.98	1.8
126-6	0.062	0.0647	5000	4570	2480	775	1240	91.73	91.5	0.905	0.89	1.8	1.8
127-6	0.047	0.0511	5410	5120	2980	925	1480	92.1	92	0.90	0.89	1.81	1.8
128-6	0.0345	0.0411	5430	5570	3140	1075	1720	92.69	92	0.89	0.88	1.8	1.8
125-6	2.00	1.74	4310	3050	3590	550	1100	89.7	89.5	0.878	0.84	1.99	1.8
126-6	1.484	1.17	4970	3050	4910	675	1350	90.05	90	0.873	0.84	2.31	1.8
127-6	1.11	1.048	5380	4080	5400	825	1650	90.5	90.5	0.87	0.85	2.12	1.8
128-6	0.985	0.855	6000	4330	5970	950	1900	90.9	90.5	0.887	0.85	2.27	1.8
125-8	0.0346	0.0465	3420	3880	1425	475	760	90.59	90.5	0.876	0.85	1.91	1.8
126-8	0.0300	0.0388	4030	4320	1640	550	880	90.61	90.5	0.87	0.85	1.77	1.8
127-8	0.0208	0.0321	3850	4820	1766	650	715	91.7	91	0.87	0.85	1.87	1.8
128-8	0.0172	0.0249	4400	5180	2130	775	852	92	91.5	0.865	0.85	1.94	1.8
125-8	2.80	2.62	4200	2890	2890	425	680	88.48	88	0.83	0.83	2.01	1.8
126-8	2.10	2.30	3890	3120	3600	475	950	88.75	88.5	0.83	0.83	2.19	1.8
127-8	2.10	1.89	5060	3454	3597	550	880	89.04	89	0.837	0.83	1.93	1.8
128-8	1.442	1.47	4380	3350	4870	625	1000	89.8	89.5	0.843	0.83	2.26	1.8
125-10	0.0405	0.0436	3288	2480	1664	400	800	90.25	89	0.815	0.80	2.17	1.8
126-10	0.03295	0.0368	3660	3040	1835	475	950	90.51	89.5	0.823	0.80	2.05	1.8
127-10	0.02545	0.0312	4030	3800	2050	675	1150	90.9	90	0.83	0.80	1.9	1.8
128-10	0.022	0.0252	4500	3910	2380	650	1300	91.07	90	0.828	0.81	1.99	1.8

附表13 〔3-1〕

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	接法	节距	Z_1	W_{sc}	定子槽形	定子线规 (根-mm)	D_{i2} (mm)	Z_2	B_δ (T)
136-4	300	3000	69.6	740	475	1.05	250+20	1Y		60	16	B_6	1-1.68×8	140	54	0.766
137-4	350	3000	80.8	740	475	1.05	290+40	1Y	1—13	60	14	B_6	1-2.1×8	140	54	0.742
138-4	410	3000	94.5	740	475	1.05	290+40	1Y		60	14	B_6	1-2.1×8	140	54	0.749
136-4	220	6000	35.7	740	475	1.05	250+20	1Y		60	36	B_7	1-1.45×3.53	140	54	0.70
137-4	250	6000	30.5	740	475	1.05	270+30	1Y	1—13	60	36	B_7	1-1.56×3.53	140	54	0.65
138-4	300	6000	35.1	740	475	1.05	290+40	1Y		60	32	B_7	1-1.81×3.53	140	54	0.673
136-6	240	380	436	740	540	0.95	210+10	3△	1—11	72	14	A_4	2-1.81×4.4	327	90	0.734
137-6	280	380	506	740	540	0.95	230+10	3△		72	12	A_4	2-2.1×4.4	327	90	0.772
136-6	220	3000	53.8	740	540	0.95	260+30	1Y		72	20	B_8	2-1.35×4.1	327	90	0.618
137-6	250	3000	60	740	540	0.95	300+40	1Y	1—11	72	18	B_8	2-1.56×4.1	327	90	0.617
138-6	280	3000	66.6	740	540	0.95	340+10	1Y		72	16	B_8	2-1.81×4.1	327	90	0.613
136-8	180	380	347	740	540	0.95	210+10	4△		72	24	A_4	3-φ1.68 1-φ1.45	327	96	0.748
137-8	210	380	402	740	540	0.95	250+20	4△	1—8	72	20	A_4	5-φ1.68	327	96	0.75
138-8	245	380	455	740	540	0.95	280+30	4△		72	18	A_4	2-φ1.68 4-φ1.56	327	96	0.733
136-8	145	3000	37.4	740	540	0.95	250+30	1Y		72	26	B_8	2-1.16×3.28	327	96	0.658
137-8	170	3000	44.1	740	540	0.95	290+40	1Y	1—8	72	22	B_9	2-1.68×3.28	327	96	0.672
138-8	200	3000	50.2	740	540	0.95	340+40	1Y		72	20	B_9	2-1.68×3.28	327	96	0.64
137-10	155	380	301	740	560	0.8	250+20	5△	1—8	90	26	A_5	2-1.0×3.28	350	120	0.70
138-10	180	380	348	740	560	0.8	270+20	5△		90	24	A_5	2-1.16×3.28	350	120	0.75
136-10	125	3000	32.8	740	560	0.8	230+20	1Y		90	26	B_{10}	1-1.0×5.9	350	120	0.665
137-10	145	3000	37.2	740	560	0.8	250+20	1Y	1—9	90	24	B_{10}	1-1.16×5.9	360	120	0.66
138-10	165	3000		740	560	0.8	300+30	1Y		90	20	B_{10}	1-1.35×5.9	350	120	0.67

附表13 〔3-2〕

型号	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	P_{Cu1} (W)	P_{Cu2} (W)	P_{Fe} (W)	P_z (W)	P_j (W)	η_1 (%)	η_2 (%)	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max1}}{M_N}$	$\frac{M_{max2}}{M_N}$
136-4	0.48	0.360	7080	4480	6640	1500	2400	93.15	92	0.885	0.88	2.37	1.8
137-4	0.354	0.304	6900	5080	9800	1750	3500	92.84	92.5	0.90	0.88	2.3	1.8
138-4	0.3465	0.296	9310	6880	7550	2050	3280	93.39	92.5	0.891	0.88	2.0	1.8
136-4	2.99	1.815	5940	3100	4330	1100	1760	93.14	91	0.882	0.88	2.39	1.8
137-4	2.87	1.89	7980	4640	4590	1300	2080	92.66	90.5	0.883	0.88	1.92	1.8
138-4	2.25	1.548	8280	5020	5420	1500	2400	93	91	0.887	0.88	1.99	1.8
136-6	0.0349	0.0454	6620	5840	3100	1200	1920	92.8	92.5	0.905	0.89	2.02	1.8
137-6	0.0271	0.0373	7030	5860	3870	1400	2240	93.2	93	0.896	0.89	2.23	1.8
136-6	0.791	0.708	6850	5020	7100	1110	1760	91	91	0.87	0.87	1.95	1.8
137-6	0.651	0.582	7000	5180	7950	1250	2000	91.5	91.5	0.88	0.87	2.06	1.8
138-6	0.566	0.510	7560	5630	7500	1400	2520	91.83	92	0.883	0.88	2.0	1.8
136-8	0.0446	0.049	5360	4680	2650	900	1800	92.12	92	0.858	0.85	1.92	1.8
137-8	0.0309	0.035	5000	4200	3500	1050	2100	93	92.5	0.855	0.85	2.0	1.8
138-8	0.0332	0.0303	6980	5270	3380	1225	2450	92.67	92.5	0.878	0.86	1.96	1.8
136-8	1.316	0.970	5510	2970	4600	725	1160	90.65	90.5	0.825	0.83	1.99	1.8
137-8	0.945	0.745	5520	3100	5300	850	7360	91.3	91	0.82	0.84	2.09	1.8
138-8	0.786	0.665	5960	3860	5580	1000	1600	91.75	91.5	0.842	0.85	1.91	1.8
137-10	0.662	0.0636	5920	3980	2420	775	1240	91.5	91	0.86	0.85	1.98	1.8
138-10	0.0538	0.0567	6300	5060	2660	900	1440	91.6	91.5	0.868	0.85	1.84	1.8
136-10	1.995	1.71	6410	4090	3280	625	1000	89.03	88.5	0.823	0.80	1.97	1.8
137-10	1.63	1.49	6780	4680	3440	725	1160	89.7	89.5	0.825	0.81	1.89	1.8
138-10	1.258	0.115	6850	4620	3530	1650	825	90.52	90	0.824	0.82	2.08	1.8

附表14　JRQ系列三相异步电动机技术数据汇总表

型号	P_N (kW)	U_N (kV)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	D_{i2} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	Z_2	定子槽形	定子线规 (根-长×宽)(mm)
158-4	850	3		990	650	195	2.0		60	72	OEH、320、009	
1510-4	1100	3		990	650	195	2.0		60	72	OEH、320、009	
1512-4	1250	3		990	650	195	2.0		60	72	OEH、320、009	
158-4	680	6	80	990	650	195	2.0	320 + 7 × 10	60	72	OEH、320、009	2-1.81×4.7
1510-4	850	6		990	650	195	2.0	400 + 9 × 10	60	72	OEH、320、009	2-2.1 ×4.7
1512-4	1050	6	118	990	650	195	2.0	480 + 11 × 10	60	72	OEH、320、009	2-2.44×4.7
157-6	600	3		990	700	423	1.2		72	90	2193	2 -1.68×5.1
158-6	880	3		990	700	423	1.2		72	90	2193	
1510-6	850	3		990	700	423	1.2		72	90	2193	
1512-6	1000	3		990	700	423	1.2		72	90	2193	
157-6	460	6		990	700	423	1.2		72	90	2193	2 -1.25×4.7
158-6	550	6	84	990	700	423	1.2	320 + 7 × 10	72	90	2193	2 -1.45×4.7
1510-6	650	6		990	700	423	1.2		72	90	2193	
1512-6	780	6		990	700	423	1.2		72	90	2193	
157-8	440	3		990	700	423	1.1		72	96	2193	
158-8	500	3		990	700	423	1.1		72	96	2193	
1510-8	625	3		990	700	423	1.1		72	96	2193	
1512-8	700	3		990	700	423	1.1		72	96	2193	
157-8	320	6	39.5	990	700	423	1.1	280 + 6 × 10	72	96	2193	1 -1.95×4.1
158-8	380	6	47	990	700	423	1.1	320 + 7 × 10	72	94	2193	1 -2.44×4.1

型号	接法	节距	η_1 (%)	η_2 (%)	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max}}{M_N}$	P_{Cu1} (W)	P_{Cu2} (W)	P_{Fe} (W)	P_j (W)	P_z (W)	I_0 (A)	P_0 (W)	R_1 (Ω)
158-4				93.5		0.88									
1510-4				94		0.89									
1512-4				94.5		0.90									
158-4	1Y		93.8	92.5	0.874	0.88	2.7	10450	7060	15300	8500	3660	21.9	24910	0.55
1510-4	1Y	1—13		93		0.89									
1512-4	1Y		94.4	93.5	0.900	0.90	2.3	16000	12350	17300	11000	5600	25.6	29100	0.33
157-6				93		0.87									
158-6	2Y	1—11		93.5		0.87									
1510-6				93.5		0.87									
1512-6				91		0.88									
157-6	1Y	1—11		92		0.87									
158-6	1Y		93.7	92.5	0.882	0.87	2.16	10950	7900	10300	4500	2950	16.8	15300	0.89
1510-6				93		0.87									
1512-6				93		0.86									
157-8				92.5		0.83									
158-8				92.5		0.84									
1510-8				93		0.85									
1512-8				93		0.85									
157-8	1Y	1—9	93.0	90.5	0.838	0.83	2.18	8850	4860	6420	2300	1600	14	10320	1.86
158-8	1Y		93.2	91.5	0.835	0.84	2.22	9300	5400	7600	2300	2050	16.8	11170	1.41

型号	P_N (kW)	U_N (kV)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	D_{i2} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	Z_2	定子槽形	定子线规 (根-长×宽)(mm)
1510-8	475	6		990	700	423	1.1		72	96	2193	2-1.25×4.7
1512-8	520	6	68	990	700	423	1.1	480+11×10	72	96	2193	2-1.45×4.7
158-10	350	3		990	770	560	1.1		90	105	2194	
1510-10	430	3	108	990	770	560	1.1	400+9×10	90	105	2194	2-2.63×4.7
1512-10	520	3		990	770	560	1.1		90	105	2194	
157-10	200	6	33.5	990	770	560	1.1	280+6×10	90	105	2194	1-1.95×3.53
158-10	310	6	40	990	770	560	1.1	320+7×10	90	105	2194	2-1.0 ×4.1
1510-10	400	6	50.5	990	770	560	1.1	400+9×10	90	105	2194	2-1.25×4.1
1512-10	480	6	60.5	990	770	560	1.1	480+11×10	90	105	2194	2-1.68×4.1
158-12	260	3		990	770	560	1.1		90	105	2194	
1510-12	320	3	85	990	770	560	1.1	400+9×10	90	105	2194	2-2.26×4.4
1512-12	390	3		990	770	560	1.1		90	105	2194	
1510-12	230	6		990	770	560	1.1	400+9×10	90	105	2194	2-1.0 ×4.1
1512-12	330	6		990	770	560	1.1	480+11×10	90	105	2194	2-1.16×4.1
146-4	430	3	100	850	540	167	1.3	240+50	60	72	2154	2-2.63×4.1
147-4	500	3	116	850	540	167	1.3	280+60	60	72	2154	2-3.05×4.1
铁心放长												
148-4	570	3	130	850	540	167	1.3	340+70	60	72	2154	2-1.95×4.1
1410-4	680	3	154	850	540	167	1.3	400+90	60	72	2154	2-1.95×4.1
147-4	360	6	42	850	540	167	1.3	280+60	60	72	2154	2-1.08×3.28
148-4	440	6	51	850	540	167	1.3	320+70	60	72	2154	2-1.45×3.28

附表14 〔2-2〕

型号	接法	节距	η_1 (%)	η_2 (%)	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max}}{M_N}$	P_{Cu1} (W)	P_{Cu2} (W)	P_{Fe} (W)	P_j (W)	P_z (W)	I_0 (A)	P_0 (W)	R_1 (Ω)
1510-8	1Y	1—9		92		0.84									
1512-8	1Y		93.7	92.5	0.850	0.85	2.02	12500	7850	10300	3500	3060	19.7	14820	0.89
158-10				91.5		0.82									
1510-10	1Y	1—8	92.5	92.5	0.825	0.83									
1512-10				92.2		0.84									
157-10	1Y		91.3	89.5	0.814	0.80	2.08	9160	5180	7050	2000	1430	12.9	10400	2.7
158-10	1Y	1—9	91.7	90	0.815	0.82	2.08	10200	6030	8350	1800	1700	15	11500	2.13
1510-10	1Y		92.7	90.5	0.816	0.83									
1512-10	1Y		92.9	91	0.815	0.83	2.35	10870	7180	13260	2550	2600	24	17600	0.973
158-12				91	0.77										
1510-12	1Y	1—7	92.3	92	0.788	0.78	2.0	8530	6100	7900	2500	1730	35.6	11300	0.396
1512-12				92		0.79									
1510-12	1Y	1—7		90.5		0.78									
1512-12	1Y			91		0.78									
146-4	1Y	1—14	93.5	92.5	0.884	0.88	2.14	8800	7100	8250	3500	2310	25.5	12320	0.292
147-4	1Y	1—14	93.6	93	0.888	0.88	2.28	9070	7450	9650	4000	2700	29.4	14040	0.226
铁心放长															
148-4	1△	1—13	94.3	92	0.894	0.89	2.47	9000	7220	11250	4300	3060	34	16170	0.532
1410-4	2Y	1—13	94.3	93.5	0.902	0.89	2.46	10150	8300	12840	5700	3600	37.3	20340	0.1427
147-4	1Y	1—13	92.5	91.5	0.891	0.88	2.63	9340	4260	9530	4000	1940	12.6	14370	1.765
148-4	1Y	1—14	93.4	92	0.89	0.88	2.63	9250	5070	10100	4300	2380	14.5	15140	1.18

附表14 〔3-1〕

型号	P_N (kW)	U_N (kV)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	D_{i2} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	Z_2	定子槽形	定子线规 (根-长×宽)(mm)
1410-4	500	6	57	850	540	167	1.3	400+90	60	72	2154	2-1.56×3.28
147-6	380	3	92	850	590	368	1.1	280+60	72	81	2126	1-2.63×8.0
148-6	430	3	104	850	590	368	1.1	320+70	72	81	2126	2-3.05×8.0
1410-6	520	3	124	850	590	368		400+90	72	81	2126	2-1.81×3.8
148-6	310	6	37	850	590	368	1.0	320+70	72	81	2126	1-1.08×3.05
1410-6	380	6	45	850	590	368	1.0	400+90	72	81	2126	2-1.35×3.05
147-8	260	3	67	850	590	368	1.0	280+60	72	84	2126	1-1.81×8.0
148-8	310	3	80	850	590	368	1.0	320+70	72	84	2126	1-2.1 ×8.0
1410-8	370	3	93.5	850	590	368	1.0	400+90	72	84	2126	1-2.63×8.0
147-8	200	6	26	850	590	368	1.0	280+60	84	90	2153	1-1.0 ×5.1
148-8	240	6	31	850	590	368	1.0	320+70	84	96	2153	1-1.16×5.1
1410-8	280	6	365	850	590	368	1.0	400+90	72	84	2126	2-1.08×3.28
147-10	200	3	52	850	650	423	0.9	280+60	90	105	1010	1-1.68×6.9
148-10	230	3	30	850	650	423	0.9	320+70	90	105	1010	1-1.95×6.9
1410-10	280	3	72	850	650	423	0.9	400+90	90	105	1010	1-2.26×6.8
1410-10	200	3	27	850	650	423	0.9	400+90	90	105	2175	1-1.0 ×5.1
147-12	140	3	39.5	850	650	423	0.9	280+60	90	108	1010	1-1.25×6.9
148-12	165	3	45.5	850	650	423	0.9	320+70	90	108	1010	1-1.45×6.9
1410-12	210	3	58	850	650	423	0.9	400+90	90	108	1010	1-1.95×6.9

附表14 〔3-2〕

型号	接法	节距	η_1 (%)	η_2 (%)	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\frac{M_{max}}{M_N}$	P_{Cu1} (W)	P_{Cu2} (W)	P_{Fe} (W)	P_j (W)	P_z (W)	I_0 (A)	P_0 (W)	R_1 (Ω)
1410-4	1Y	1—13	93.4	92.5	0.905	0.89	2.58	10200	5650	10700	5700	2700	13.7	17650	1.053
147-6	1Y	1—11	92.9	92	0.86	0.85	2.09	8000	7450	8300	3000	2050	27	12000	0.318
148-6	1Y		93.1	92.5	0.855	0.86	2.2	7950	7360	10700	3500	2310	32.8	15000	0.247
1410-6	2Y		93.4	93	0.867	0.87	2.22	9350	8320	11650	4500	2800	36.5	17000	0.204
148-6	1Y	1—11	91.6	91	0.876	0.86	2.17	9550	6350	8320	3500	1700	10.7	12620	2.31
1410-6	1Y		92.1	91.5	0.883	0.87	2.04	10400	6600	9100	4500	2050	11.3	14260	1.715
147-8	1Y	1—9	92.5	91.5	0.806	0.80	1.0	7000	5520	5650	1600	1410	24.3	8200	0.521
148-8	1Y	1—8	92.7	92	0.83	0.82	1.83	7860	6600	6420	1800	1680	24.8	9020	0.435
1410-8	1Y	1—8	92.8	92.5	0.822	0.82	1.87	8400	7300	8200	2800	2000	31.2	12000	0.321
147-8	1Y	1—10	91.4	90	0.813	0.80	2.15	7240	3430	5290	1600	1000	10.4	9060	3.62
148-8	1Y	1—10	91.5	90	0.818	0.81	2.1	8250	3900	6750	1800	1320	11	9870	0.0113
1410-8	1Y	1—9	91.8	90	0.805	0.80	2.3	8250	4150	8200	5800	1550	15.5	12600	2.07
147-10	1Y	1—9	91.1	90	0.813	0.81	2.05	6560	4530	5900	1500	1100	20.0	8380	0.808
148-10	1Y	1—9	91.4	90.5	0.81	0.81	1.97	6880	5170	5210	2000	1250	21.8	9150	0.643
1410-10	1Y	1—8	91.9	91	0.818	0.82	1.92	8140	6000	7020	2050	1550	24.7	10040	0.53
1410-10	1Y	1—8	90.5	89	0.79	0.80	2.78	7280	2850	7700	2050	1120	13	11430	3.34
147-12	1Y	1—7	90.2	89	0.76	0.76	1.95	5920	3330	4250	900	780	17.8	5360	1.27
147-12	1Y	1—7	90.5	89.5	0.765	0.76	2.08	6981	3520	5340	1100	910	21.2	7810	1.02
1410-12	1Y	1—7	91.4	90	0.763	0.77	2.07	6550	4250	6150	1300	1150	13	8678	0.0161

附表15　上海地区生产的JS系列中型

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规 (根-长×宽) (mm)	W_{sc}
114-4	115		367/212				210+20		2-1.81×2.83	14
115-4	135	220/380	432/249	560	350	0.9	240+30	60	4-1.08×2.83	12
116-4	155		493/285				280+40		4-1.25×2.83	10
117-4	180	380△	329				320+50		2-1.68×2.83	16
114-4	90		22				210+20		1-1.25×3.28	36
115-4	110	3000Y	27	560	350	0.9	240+30	48	1-1.56×3.28	32
116-4	125		30				280+40		1-1.81×3.28	28
117-4	150		36				320+50		1-2.1 ×3.28	24
115-6	75		242/140				250+20		2-1.68×2.83	12
116-6	95	220/380	305/176	560	400	0.8	290+30	72	2-1.08×2.83	20
117-6	115		367/212				330+40		2-1.45×2.83	16
116-6	75	3000Y	19.2	560	400	0.8	280+40	54	1-1.16×3.28	36
117-6	95		24				320+50		1-1.45×3.2	32
115-8	60		208/120				250+20		2-1.16×2.83	18
116-8	70	220/380	241/139	560	400	0.8	290+30	72	2-1.35×2.83	16
117-8	80		275/159				330+40		2-1.56×2.83	14
115-10	45		168/97				250+20		2-ϕ1.68QZ	24
116-10	55	220/380	210/121	560	423	0.8	290+30	90	2-1.08×2.63	20
117-10	65		242/139				330+40		2-1.25×2.63	18
115-10	45		96				190+20		2-ϕ1.56QZ	24
116-10	55	380Y	117	560	423	0.8	230+30	90	2-ϕ1.68QZ	20
117-10	65		136				270+40		2-ϕ1.56QZ	18
126-4	225	380△	398	650	423	1.0	270+50	60	2-1.68×3.53	16
127-4	260		459				310+60		2-1.95×3.53	14

三相异步电动机技术数据汇总表

节距	接法	定子槽号	R_1 (Ω)	I_0 (A)	P_0 (kW)	η (%)	cosφ	$\frac{I_{st}}{I_N}$	$\frac{M_{st}}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$
1—13	4△/Y	1	0.0265	49Y	3.4	91	0.88	6.5	0.9	1.6
			0.0207	59Y	4.0	91.5	0.88			
			0.0157	74Y	5.1	92	0.89			
	4△		0.0395	72.5	5.05	92.6	0.89			
1—11	1Y	18	2.38	7.1	3.86	89.5	0.85	6.5	0.9	1.6
			1.77	7.8	4.32	90	0.86			
			1.41	8.7	4.9	90.5	0.86			
			1.145	10	5.77	91	0.86			
1—11	3△/Y	2	0.0503	36Y	2.32	90.5	0.88	6.0	0.9	1.6
	6△/Y		0.036	44Y	2.8	91	0.88			
	6△/Y		0.0226	62	3.67	91	0.88			
1—8	1Y	23	2.8	7.9	4.47	89	0.86	6.0	0.9	1.6
			2.11	8.8	4.96	89.5	0.86			
1—9	4△/Y	2	0.0563	46.1Y	2.26	89	0.83	5.5	0.9	1.6
			0.0462	49.1Y	2.44	90	0.84			
			0.0374	57Y	2.76	90.5	0.84			
1—8	5△/Y	3	0.078	46.5Y	2.31	88	0.78	5.5	0.9	1.6
			0.060	55.6Y	2.87	88.5	0.78			
			0.050	59Y	3.06	89	0.79			
1—9	5Y	3	0.0768	48	2.06	88	0.78			
1—9			0.061	55	2.35	88.5	0.78			
1—8			0.0445	64	2.69	89	0.79			
1—13	4△	8	0.0312	79	5.65	93	0.90	6.5	0.9	1.6
			0.0249	90	6.8	93	0.90			

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规 (根-长×宽) (mm)	W_{sc}
128-4	360	380△	527	650	423	1.0	360+70	60	2-2.26×3.53	12
126-4	190	3000Y	44	650	423	1.0	270+50	60	1-1.35×5.9	20
127-4	230		52.5				310+60		1-1.81×5.9	16
125-6	130	220/380	412/238	650	475	0.8	240+30	72	2-1.16×3.53	18
126-6	155	380△	283				280+40		2-1.56×3.53	14
127-6	185		337				320+50		2-1.95×3.53	12
128-6	215	380Y	390				360+70		2-1.81×3.53	12
125-6	110	3000Y	27	650	475	0.8	240+30	72	1-1.81×3.05	28
126-6	135		33				280+40		2-1.0 ×3.05	22
127-6	165		40.5				320+50		1-1.16×6.9	20
128-6	190		46				360+70		1-1.25×6.9	18
125-8	95	220/380	319/184	650	475	0.8	240+30	72	2-1.35×3.53	16
126-8	110		367/212				280+40		2-1.56×3.53	14
127-8	130		433/250				320+50		2-1.95×3.53	12
128-8	155		512/296				360+70		2-2.26×3 53	10
125-8	85	3000	22.3	650	475	0.8	240+30	72	1-1.35×3.05	36
126-8	95		24.8				280+40		1-1.56×3.05	32
127-8	110		28.5				320+50		1-1.81×3 05	28
128-8	125		32				380+70		1-2.1 ×3.05	24
125-10	80	220/380	282/163	650	493	0.8	240+30	90	2-1.35×2.83	18
126-10	95		334/192				280+40		2-1.56×2.83	16
127-10	115		401/232				320+50		2-1.81×2.83	14
128-10	130		448/259				370+60		2-1.81×2.83	12
136-4	300	3000	68.5	740	475	1.2	310+60	60	2-1.0×4.1	30
137-4	350		80.5				310+60		2-1.0×4.1	30

（续）

节距	接法	定子槽号	R_1 (Ω)	I_0 (A)	P_0 (kW)	η (%)	cosφ	$\frac{I_{st}}{I_N}$	$\frac{M_{st}}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$
1—13	4△	8	0.0202	61.5	7.53	93.5	0.91	6.5	0.9	1.0
1—14	1Y	19	1.01	10	6.4	91.5	0.87	6.5	0.9	1.6
			0.63	14.1	8.72	92	0.87			
1—11	6△/Y	7	0.0229	58.1Y	3.97	91.5	0.89	6.0	0.9	1.6
1—10	3△		0.0539	67.2	4.53	91.5	0.89			
1—10			0.0393	80.9	5.34	92	0.89			
1—11	6Y		0.0119	86.3Y	6.03	92	0.89			
1—10	1Y	20	2.0	8.0	4.75	90	0.86	6.0	0.9	1.6
1—11			1.64	10.7	5.96	90.5	0.86			
1—10			1.11	12.4	6.87	91	0.86			
1—10			0.989	13.3	7.63	91	0.86			
1—9	4△/Y	7	0.0365	52Y	2.48	91	0.85	5.5	0.9	1.6
			0.0297	58Y	2.82	91	0.85			
			0.0217	68Y	3.26	92	0.85			
			0.0172	88.5Y	4.26	92	0.85			
1—8	1Y	20	3.15	7.84	3.46	89	0.82	5.5	0.9	1.6
			2.59	8.4	3.77	89	0.82			
			2.08	9.7	4.34	89.5	0.82			
			1.76	11	4.92	90	0.83			
1—9	5△/Y	6	0.039	64.5Y	2.97	90.5	0.82	5.5	0.9	1.6
1—9			0.0322	68.3Y	3.03	90.5	0.82			
1—8			0.025	87.8Y	3.92	91	0.82			
1—9			0.0242	92.6Y	4.18	91	0.82			
1—13	2Y	14	0.417	16.7	11.25	92	0.88	6.5	0.9	1.6
			0.417	16.7	11.25	92.5	0.88			

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规 (根-长×宽) (mm)	W_{sc}
138-4	410	3000	94	740	475	1.1	360+70	60	2-1.25×4.1	26
136-4	220	6000	25.5	740	475	1.1	310+60	60	2-1.0×3.28	32
137-4	260		30.5				310+60		2-1.0×3.28	32
138-4	300		34.5				360+70		2-1.0×3.28	28
136-6	240	380	42.6			0.95	270+50	72	2-2.26×4.1	12
137-6	280		49.7				310+60		2-2.44×4.1	10
136-6	220	3000	51.5	740	540	0.95	270+50	72	2-1.35×3.8	20
137-6	250		58				310+60		2-1.56×3.8	18
138-6	280		64				360+70		1-1.68×8.0	16
136-8	180	380	336	740	540	0.95	270+50	72	2-1.16×4.1	20
137-8	210		390				310+60		2-1.35×4.1	18
138-8	245		454				360+70		2-1.56×4.1	16
136-8	145	3000	36	740	540	0.95	270+50	72	2-1.0×3.8	26
137-8	170		42				310+60		2-1.08×3.8	22
138-8	200		49				360+70		1-1.25×8.0	20
137-10	155	380	294	740	560	0.8	310+60	90	2-1.16×3.28	22
138-10	180		339				360+70		2-1.35×3.28	20
136-10	125	3000	32	740	560	0.8	270+50	90	1-1.16×5.9	24
137-10	145		37				310+60		1-1.35×5.9	22
138-10	165		42.5				360+70		1-1.56×5.9	18
146-4	430	3000	100	850	540	1.3	240+50	60	2-2.63×4.1	14
147-4	500		116				280+60		2-3.05×4.1	12
148-4	570		130				340+70		2-1.95×4.1	18
1410-4	680		154				400+90		2-1.95×4.1	18
147-4	360	6000	42	850	540	1.3	280+60	60	2-1.08×3.28	26

（续）

节距	接法	定子槽号	R_1 (Ω)	I_0 (A)	P_0 (kW)	η (%)	cosφ	$\frac{I_{st}}{I_N}$	$\frac{M_{st}}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$
1—13	2 Y	14	0.302	18.9	13.1	93	0.89	6.5	0.9	1.6
1—13	1 Y	17	2.345	7.3	10.1	91	0.88	6.5	0.9	1.6
		14	2.345	7.3	10.7	91	0.88			
			2.18	7.77	11.47	91.5	0.89			
1--11	3 △	4	0.0304	90	4.3	92.5	0.90	6.0	0.9	1.6
			0.0249	115	7.3	93.0	0.90			
1—11	1 Y	21	0.825	12.5	7.4	91	0.88	6.0	0.9	1.6
			0.678	13.3	7.9	91.5	0.89			
			0.598	14.3	8.6	92	0.89			
1—8	4 △	4	0.0473	103	4.51	92	0.85	5.5	0.9	1.6
			0.0392	108	4.93	92	0.86			
			0.0325	116	5.69	92.5	0.87			
1—8	1 Y	15	1.41	12.9	5.4	90.5	0.83	5.5	0.9	1.6
1—9			1.21	14.4	5.94	90.5	0.84			
1—8		21	0.902	16.3	6.78	91	0.85			
1—8	5 △	5	0.0555	97	4.27	92	0.86	5.5	0.9	1.6
1—8			0.0468	98.5	4.72	92.5	0.86			
1—9	1 Y	22	1.745	12.5	5.35	89.5	0.81	5.5	0.9	1.6
1—8			1.405	14.1	6.0	90	0.82			
1—9			1.109	16.6	6.94	90.5	0.82			
1—14	1 Y	14	0.292	22.8	12.63	93	0.88	6.5	0.9	1.6
1—14			0.226	26	14.56	93	0.88			
1—13	1 △		0.532	30.3	16.44	93	0.88			
1—13	2 Y		0.1427	33.7	20.59	93.5	0.88			
1—13	1 Y		1.755	11.4	14.65	91.5	0.87	6.5	0.9	1.6

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	τ	定子线规 (根-长×宽) (mm)	W_{cc}
148-4	440	6000	51	850	540	1.3	320+70	60	2-1.45×3.28	22
1410-4	500		57				400+90		2-1.56×3.28	20
147-6	380	3000	89	850	590	1.3	280+60	72	1-2.63×8.0	14
148-6	430		101				320+70		1-3.05×8.0	12
1410-6	520		121				400+90		2-1.81×3.8	20
148-6	310	6000	36.5	850	590	1.3	420+70	72	2-1.08×3.05	28
1410-6	380		44				400+90		2-1.35×3.05	24
147-8	260	3000	65	850	590	1.3	280+60	72	1-1.81×8.0	18
148-8	310		77				320+70		1-2.1 ×8.0	16
1410-8	370		90.5				400+90		1-2.63×8.0	14
147-8	200	6000	26	850	590	1.0	280+60	84	1-1.0 ×5.1	34
148-8	240		31				320+70		1-1.16×5.1	30
1410-8	280		36			1.3	400+90	72	2-1.08×3.28	28
147-10	200	3000	50.5	850	650	0.9	280+60	90	1-1.68×6.9	18
148-10	230		58				320+70		1-1.95×6.9	16
1410-10	280		71				400+90		1-2.26×6.9	14
1410-10	200	6000	27				400+90	90	1-1.0×5.1	26
147-12	140	3000	38.5	850	650	0.9	280+60	90	1-1.25×6.9	22
148-12	165		44.5				320+70		1-1.45×6.9	20
1410-12	210		57.5				400+90		1-1.95×6.9	16
158-4	850	3000		990	650	2.0		60		
1510-4	1100									
1512-4	1250									
158-4	680	6000	79	990	650	2.0	320+70	60	2-1.81×4.7	18

（续）

节距	接法	定子槽号	R_1 (Ω)	I_0 (A)	P_0 (kW)	η (%)	cosΨ	$\frac{I_{st}}{I_N}$	$\frac{M_{st}}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$
1—14	1Y	14	1.18	13.1	16.24	92.5	0.88	6.5	0.9	1.6
1—13			1.053	13	17.4	92.5	0.88			
1—11	1Y	12	0.318	25.3	12.21	92	0.86	6.0	0.9	1.6
	1Y		0.247	30.2	15.17	92.5	0.87			
	2Y		0.204	35.2	17.2	93	0.87			
1—11	1Y	12	2.31	10.5	12.66	91.5	0.86	6.0	0.9	1.6
			1.715	11.2	14.3	92	0.87			
1—9	1Y	12	0.521	24	8.43	91.5	0.81	5.5	0.9	1.6
1—9			0.435	26.8	9.32	92	0.82			
1—8			0.321	30.4	11.5	92.5	0.83			
1—10	1Y	13	3.62	9.9	8.17	90	0.80	5.5	0.9	1.6
1—10		12	2.9	11.5	9.88	90.5	0.80			
1—8			2.07	15.0	12.85	91	0.80			
1—9	1Y	11	0.815	19.6	8.6	90.5	0.81	5.5	0.9	1.6
1—9			0.645	21.2	9.27	90.5	0.82			
1—8			0.53	24.4	10.45	91	0.82			
1—9	1Y	16	3.35	12.9	11.48	89	0.79	5.5	0.9	1.6
1—8	1Y	11	1.27	17.0	6.35	89	0.74	5.5	0.9	1.6
1—7			1.02	20.5	8.2	89.5	0.76			
1—7			0.678	25.4	8.69	90	0.77			
		28				93.5	0.88	6.5	0.9	1.6
						94	0.88			
						94.5	0.89			
1—13	1Y	28	0.55	21.5	24.95	93.5	0.88	6.5	0.9	1.6

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规（根-长×宽）(mm)	W_{sc}
1510-4	850	6000	97	990	650	2.0	410+90	60	2-2.1×4.7	16
1512-4	1050		120				480+110		2-2.44×4.7	14
157-6	600	3000	159	990	700	1.2	320+70	72	2-1.68×5.1	20
158-6	680									
1510-6	850									
1512-6	1000									
157-6	460	6000	54.5	990	700	1.2	280+60	72	2-1.25×4.7	24
158-6	550		64				320+70		2-1.45×4.7	22
1510-6	650									
1512-6	780		88				480+110		2-1.81×4.7	16
157-8	440	3000	109	990	700	1.2	320+70	72	2-2.63×5.1	14
158-8	500									
1510-8	625									
1512-8	700									
157-8	320	6000	40	990	700	1.2	280+60	72	1-1.95×4.7	32
158-8	380		47.5				320+70		1-2.44×4.7	28
1510-8	475		57.5				400+90		2-1.25×4.7	24
1512-8	570		69				480+110		2-1.45×4.7	20
158-10	350	3000		990	770	1.1	480+110	90	2-1.68×4.7	20
1510-10	430									
1512-10	520		130							
157-10	260	6000	34	990	770	1.1	280+60	90	1-1.95×3.53	32
158-10	310		40				320+70		2-1.0×4.1	28
1510-10	400		50.3				400+90		2-1.25×4.1	22
1512-10	480		61				480+110		2-1.68×4.1	18
158—12	260	3000		990	770	1.1		90		14

（续）

节距	接法	定子槽号	R_1 (Ω)	I_0 (A)	P_0 (kW)	η (%)	cosΦ	$\frac{I_{rt}}{I_N}$	$\frac{M_{rt}}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$
1—13	1Y	28	0.468 0.38	24 25.4	27.9 29	93.5 94	0.89 0.89	6.5	0.9	1.6
1—11	2Y	29	0.153	45	17.5	93 93 93 94	0.87 0.87 0.87 0.88	6.0	0.9	1.6
1—11	1Y	29	1.08 0.89	16.9 16.7	15.5 16.5	92.5 93 93 93.5	0.87 0.87 0.87 0.88	6.0	0.9	1.6
1—9	1Y	29						5.5	0.9	1.6
1—9	1Y	29	1.86 1.41 1.13 0.89	14.5 17 17.6 20.7	11.66 11.5 13.3 14.91	91 91.5 92 92.5	0.83 0.84 0.84 0.85	5.5	0.9	1.6
1—8	2Y	30						5.5	0.9	1.6
1—9	1Y	30	2.7 2.13 0.973	12.9 14.8 24.2	11.73 11.6 17.56	90 90.5 91.0 91.5	0.80 0.81 0.82 0.82	5.5	0.9	1.6
1—7	1Y	30						5.5	0.9	1.6

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1	D_{i1}	δ	L	Z_1	定子线规 (根-长×宽) (mm)	W_{s1}
				(mm)						
1510-12	320	3000	85	990	770	1.1	400+90	90	2-2.26×4.7	14
1512-12	390		105				480+110		2-1.45×4.7	12
1510-12	280	6000	38	990	770	1.1	400+90	90	2-1.0 ×4.1	28
1512-12	330		44.5				480+110		2-1.16×4.1	24

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8
H	46.5	40.5	40.5	43	46.5	43	40	44.5
h_1	1	1	1	1	1	1	1	1
h_2	3	3	3	3	3	3	3	3
b_0	5.4	5.4	6	6.6	5.9	5.4	6.1	6.1
b_1	9.3	9.3	8.8	11.9	10.1	9.3	10.7	10.7

槽号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
H	56.5	66	72	63	58	59	68.5	49.5	55	50.5	52	58.5	18	55.5	65	70
h_0	0.5	1.0	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5
h_1	4	4.5	5	5	4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4	4	4
b_0	12.5	13.8	12.3	14.1	13.4	12.3	14.1	13	11.6	12.7	13.5	11.7	13.1	13.3	14.2	14.3

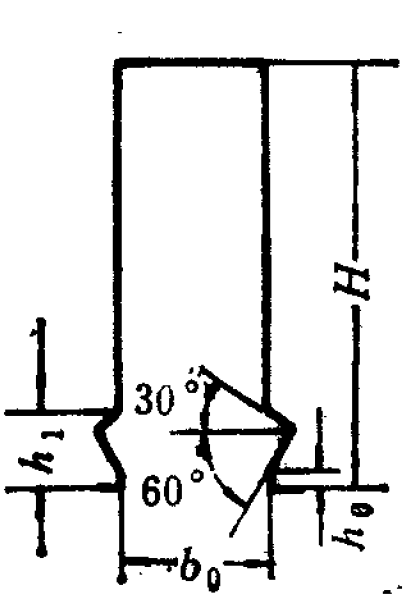
（续）

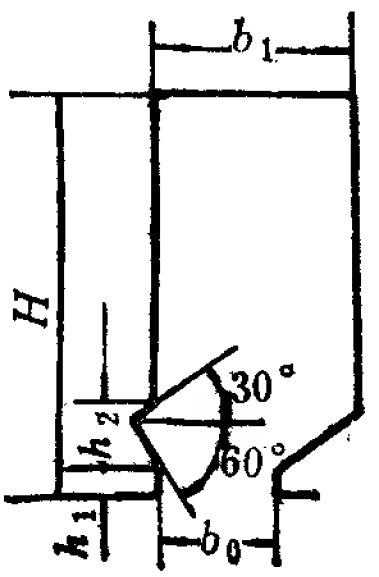
节距	接法	定子槽号	R_1 (Ω)	I_0 (A)	P_0 (kW)	η (%)	cosΦ	$\frac{I_{st}}{I_N}$	$\frac{M_{st}}{M_N}$	$\frac{M_{max}}{M_N}$
1—7	1Y	30						5.5	0.9	1.6
1—7	1Y	30	2.18 1.77	17.2 19.2	12.51 14.2	90.5 90.5	0.78 0.78	5.5	0.9	1.6

（mm）

槽号	9	10
H	44.8	53
h_1	0.6	1
h_2	—	3
b_c	7.2	7.7
b_1	12.9	14.8

槽号	27	28	29	30
H	76	62	63	63
h_0	0.5	0.5	1	1
h_1	4	5	5	5.5
b_0	14.3	17	16.3	15.5





附表16　上海地区生产的JR系列中型三相异步电动机技术数据汇总表

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规 (根-长×宽) (mm)	W_{sc}	节距	接法	定子槽号	I_0 (A)	P_0 (kW)	R_1 (Ω)
114-4	115	220/380	369/213	560	350	0.9	210+20	60	2-1.81×2.83	14	1—13	4△/Y	1	55	3.37	0.0265
115-4	135		435/251				240+30		4-1.08×2.83	12				67	4.03	0.0207
116-4	155		498/288				280+40		4-1.25×2.83	10				87	5.02	0.0157
117-4	180	380	327				320+50		2-1.68×2.83	16		4△		82	4.77	0.0395
114-4	90	3000	22	560	350	0.9	210+20	48	1-1.25×3.28	36	1—11	1Y	18	7.6	4.33	2.38
115-4	110		27				240+30		1-1.56×3.28	32				8.3	4.27	1.77
116-4	125		30				280+40		1-1.81×3.28	28				9.2	4.84	1.41
117-4	150		36				320+50		1-2.10×3.28	24				11	5.7	1.145
115-6	75	220/380	251/145	560	400	0.8	250+20	72	2-1.68×2.83	12	1—11	3△/Y	2	37Y	2.31	0.0503
116-6	95		315/182				290+30		2-1.08×2.83	20		6△/Y		46Y	2.76	0.036
117-6	115		377/218				330+40		2-1.45×2.83	16		6△/Y		64.5Y	3.66	0.0226
116-6	75	3000	19.4	560	400	0.8	280+40	54	1-1.16×3.28	36	1—8	1Y	23	8.4	4.43	2.8
117-6	95						320+50									
115-8	60	220/380	209/121	560	400	0.75	250+20	72	2-1.16×2.83	18	1—9	4△/Y	2	47.5Y	2.13	0.0563
116-8	70		241/139				290+30		2-1.35×2.83	16				58.1Y	2.61	0.0462
117-8	80		274/158				330+40		2-1.56×2.83	14				58Y	2.89	0.0374
115-10	45	220/380	171/99	560	423	0.75	250+20	90	2-ϕ1.68QZ	24	1—8	5△/Y	3	45.5Y	2.29	0.078
116-10	55		210/121				290+30		2-1.08×2.63	20				57.4Y	2.62	0.06
117-10	65		245/142				330+40		2-1.25×2.63	18				61Y	2.76	0.05
126-4	225	380	405	650	423	1.0	270+50	60	2-1.68×3.53	16	1—13	4△	8	84	5.9	0.0312
127-4	260		466				310+60		2-1.95×3.53	14				96.5	6.38	0.0249
128-4	300		535				360+70		2-2.26×3.53	12				113	7.46	0.0202

（续）

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规 (根-长×宽) (mm)	W_{sc}	节距	接法	定子槽号	I_0 (A)	P_0 (kW)	R_1 (Ω)
126-4	190	3000	44.5	650	423	1.0	270+50	60	1-1.35×5.90	20	1—14	1Y	19	10	6.33	1.01
127-4	230		53.5				310+60		1-1.81×5.90	16				14.3	8.54	0.63
125-6	130	220/380	426/246	650	475	0.8	240+30	72	2-1.16×3.53	18	1—11	6△/Y	7	60.2	3.92	0.0229
126-6	155	380	292				280+40		2-1.56×3.53	14	1—10	3△		69	4.57	0.0539
127-6	185		350				320+50		2-1.95×3.53	12	1—10	3△		83	5.45	0.0393
128-6	215		402				360+70		2-1.81×3.53	12	1—11	6Y		88.8	6	0.0119
125-6	110	3000	28	650	475	0.8	240+30	72	1-1.81×3.05	28	1—10	1Y	20	8.15	4.82	2.0
126-6	135		34				280+40		2-1.0×3.05	22	1—11			10.7	5.57	1.64
127-6	165		41.5				320+50		1-1.16×6.9	20	1—10			12.5	6.87	1.11
128-6	190		47.1				360+70		1-1.25×6.9	18	1—10			13.4	7.57	0.989
125-8	95	220/380	314/182	650	475	0.8	240+30	72	2-1.35×3.53	16	1—9	4△/Y	7	54	3.01	0.0365
126-8	110		365/211				280+40		2-1.56×3.53	14				60	2.92	0.0297
127-8	130		430/248				320+50		2-1.95×3.53	12				72	3.22	0.0217
128-8	155		512/296				360+70		2-2.26×3.53	10				93.5	4.15	0.0172
125-8	85	3000	22.5	650	475	0.8	240+30	72	1-1.35×3.05	36	1—8	1Y	20	8	3.43	3.15
126-8	95		24.5				280+40		1-1.56×3.05	32				8.2	3.78	2.59
127-8	110		28.2				320+50		1-1.81×3.05	28				9.9	4.5	2.08
128-8	125		32				380+70		1-2.10×3.05	24			18	11.1	4.91	1.77
125-10	80	220/380	203/169	650	493	0.8	240+30	90	2-1.35×2.83	18	1—9	5△/Y	6	66Y	3.42	0.0389
126-10	95		341/197				280+40		2-1.56×2.83	16	1—9			78.2Y	3.41	0.0322
127-10	115		412/238				320+50		2-1.81×2.83	14	1—8			90Y	3.91	0.025
128-10	130		462/267				370+60		2-1.81×2.83	12	1—9			94	4.14	0.0212
127-10	90	3000		650	493	0.8										
128-10	100															

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规（根-长×宽）(mm)	W_{sc}	节距	接法	定子槽号	I_0 (A)	P_0 (kW)	R_1 (Ω)
136—4	300		70				310+60		2-1.0×4.1	30				17.2	11.17	0.417
137—4	350	3000	82	740	475	1.1	310+60	60	2-1.0×4.1	30	1—13	2Y	14	17.2	11.17	0.417
138—4	410		95.5				360+70		2-1.25×4.1	26				19.8	12.56	0.0302
136-4	220	6000	26	740	475	1.1	310+60	60	2-1.0×3.28	32	1—13	1Y	17	7.4	10.64	2.345
137-4	260	6000	30.5	740	475	1.1	310+60	60	2-1.0×?.28	32	1—13	1Y	17	7.4	10.64	2.345
138-4	300		35				360+70		2-1.0×3.28	28	1—13			8.2	11.49	2.18
136-6	240	380	436	740	540	0.95	270+50	72	2-2.26×4.1	12	1—11	3△	4	98	6.2	0.0304
137-6	280		510				310+60		2-2.44×4.1	10	1—11			126.5	7.2	0.0249
136-6	220		52.5				270+50		2-1.35×3.8	20	1—11			12.8	7.3	0.825
137-6	250	3000	59.5	740	540	0.95	310+60	72	2-1.56×3.8	18	1—11	1Y	21	13.7	7.9	0.678
138-6	280		66				360+70		1-1.68×8	16	1—11			14.8	8.6	0.598
136-8	180		350				270+50		2-1.16×4.1	20	1—8			109	5.34	0.0473
137-8	210	380	399	740	540	0.95	310+60	72	2-1.35×4.1	18	1—8	4△	4	114	4.83	0.0392
138-8	245		464				360+70		2-1.56×4.1	16	1—8			120	5.21	0.0325
136-8	145		37				270+50		2-1.0×3.8	26	1—8		15	13.1	5.59	1.41
137-8	170	3000	42.8	740	540	0.95	310+60	72	2-1.08×3.8	22	1—9	1Y	21	14.3	5.87	1.21
138-8	200		50				360+70		1-1.25×8.0	20	1—8		21	16.3	6.72	0.902
137-10	155	380	304	740	560	0.8	310+60	90	2-1.16×3.28	22	1—8	5△	5	101	4.2	0.0555
138-10	180		350				360+70		2-1.35×3.28	20	1—8			103	4.65	0.0468
136-10	125		33.5				270+50		1-1.16×5.9	24	1—9			12.6	5.38	1.745
137-10	145	3000	38	740	560	0.8	310+60	90	1-1.35×5.9	22	1—8	1Y	22	14.1	6.0	1.405
138-10	165		43.5				360+70		1-1.56×5.9	18	1—9			16.7	6.92	1.109

（续）

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规 (根-长×宽) (mm)	W_{rc}	节距	接法	定子槽号	I_0 (A)	P_0 (kW)	R_1 (Ω)
146-4	430	3000	100	850	540	1.3	240+50	60	2-2.63×4.1	14	1—14	1Y	14	25.5	12.32	0.292
147-4	500		116				280+60		2-3.05×4.1	12	1—14	1Y		29.4	14.04	0.226
148-4	570		130				340+70		2-1.95×4.1	18	1—13	1△		34	16.17	0.532
1410-4	680		154				400+90		2-1.95×4.1	18	1—13	2Y		37.3	20.34	0.1427
147-4	360	6000	42	850	540	1.3	280+60	60	2-1.08×3.28	26	1—13	1Y	14	12.6	14.37	1.765
148-4	440		51				320+70		2-1.45×3.28	22	1—14			14.5	15.14	1.18
1410-4	500		57				400+90		2-1.56×3.28	20	1—13			13.7	17.66	1.053
147-6	380	3000	92	850	590	1.1	280+60	72	1-2.63×8	14	1-11	1Y	12	27	12	0.318
148-6	430		104				320+70		1-3.05×8	12	1-11	1Y		32.8	15	0.247
1410-6	520		124				400+90		1-1.81×3.8	20	1-11	2Y		36.5	17	0.204
148-6	310	6000	37	850	590	1.1	320+70	72	2-1.08×3.05	28	1—11	1Y	12	10.7	12.62	2.31
1410-6	380		45				400+90		2-1.35×3.05	24	1—11			11.3	14.26	1.715
147-8	260	3000	67	850	590	1.0	280+60	72	1-1.81×8	18	1—9	1Y	12	24.3	8.2	0.521
148-8	310		78				320+70		1-2.1 ×8	16	1—9			24.8	9.02	0.435
1410-8	370		93.5				400+90		1-2.63×8	14	1—8			31.2	12	0.321
147-8	200	6000	26	850	590	1.0	280+60	84	1-1.0×5.1	34	1—10	1Y	13	10.4	9.06	3.62
148-8	240		31				320+70		1-1.16×5.1	30	1—10		13	10.8	9.66	2.9
1410-8	280		36.5				400+90		2-1.08×3.28	28	1—8		12	15.5	12.6	2.07
147-10	200	3000	52	850	650	0.9	280+60	90	1-1.68×6.9	18	1—9	1Y	11	20	8.38	0.808
148-10	230		60				320+70		1-1.95×6.9	16	1—9			21.8	9.15	0.643
1410-10	280		72				400+90		1-2.26×6.9	14	1—8			24.7	10.0	0.53
1410-10	200	6000	27	850	650	0.9	400+90		1-1.0×5.1	26	1—9	1Y	16	13	11.43	3.34

（续）

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规（根-长×宽）(mm)	W_{sc}	节距	接法	定子槽号	I_0 (A)	P_0 (kW)	R_1 (Ω)
147-12	140	3000	39.5	850	650	0.9	280+60	90	1-1.25×6.9	22	1—8	1Y	11	17.8	6.36	1.27
148-12	165		45.5				320+70		1-1.45×6.9	20	1—7			21.2	7.81	1.02
1410-12	210		58				400+90		1-1.95×6.9	16	1—7			26.3	8.86	0.678
158-4	850	3000		990	650	2.0		60					28			
1510-4	1100															
1512-4	1250															
158-4	680	6000	80	990	650	2.0	320+70	60	2-1.81×4.7	18	1—13	1Y	28	25.9	24.9	0.55
1510-4	850						400+90		2-2.1×4.7	16	1—13					0.468
1512-4	1050		118				480+110		2-2.41×4.7	14	1—13			25.6	29.1	0.38
157-6	600	3000		990	700	1.2		72	2-1.68×5.1	20	1—11	2Y	29			
158-6	680															
1510-6	850															
1512-6	1000															
157-6	460	6000	64	990	700	1.2	320+70	72	2-1.25×4.7	24	1—11	1Y	29	16.8	15.6	0.89
158-6	550								2-1.45×4.7	22						
1510-6	650															
1512-6	780															
157-8	440	3000		990	700	1.1		72					29			
158-8	500															
1510-8	625															
1512-8	700															

（续）

型号	P_N (kW)	U_N (V)	I_N (A)	D_1 (mm)	D_{i1} (mm)	δ (mm)	L (mm)	Z_1	定子线规（根-长×宽）(mm)	W_{sc}	节距	接法	定子槽号	I_0 (A)	P_0 (kW)	R_1 (Ω)
157-8	320	6000	39.5	990	700	1.1	280+60	72	1-1.95×4.1	32	1—9	1Y	29	14.0	10.32	1.86
158-8	380		47				320+70		1-2.44×4.1	28	1—9			16.8	11.17	1.41
1510-8	475								2-1.25×4.7	24	1—9					
1512-8	570		68				480+110		2-1.45×4.7	20	1—9			19.7	14.82	0.89
158-10	350	3000	108	990	770	1.1	400+90	90	2-2.63×4.7	12	1—8	1Y	30			
1510-10	430															
1512-10	520															
157-10	260	6000	33.5	990	770	1.1	280+60	90	1-1.95×3.53	32	1—9	1Y	30	12.9	10.4	2.7
158-10	310		40				320+70		2-1.0×4.1	28	1—9			15	11.59	2.13
1510-10	400		50.5				400+90		2-1.25×4.1	22	1—9					
1512-10	480		60.5				480+110		2-1.68×4.1	18	1—9			24	17.6	0.973
158-12	260	3000	85	990	770	1.1	400+90	90	2-2.26×4.7	14	1—7	1Y	30	35.6	11.9	0.396
1510-12	320															
1512-12	390															
1510-12	280	6000		990	770	1.1	400+90	90	2-1.0×4.1	28	1—7	1Y				
1512-12	330						480+110		2-1.16×4.1	24	1—7					

注：定子槽号见附表 7 中的槽形和槽号。